



TUGAS AKHIR - TE091399

**KARAKTERISTIK REDAMAN DAN SHADOWING DALAM
RUANG PADA KANAL RADIO 2,4 GHz**

**Lina Mubarakah
NRP 2212106048**

**Dosen Pembimbing
Ir. Puji Handayani, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - TE091399

**CHARACTERISTICS OF ATTENUATION AND
SHADOWING IN INDOOR RADIO CHANNEL 2,4 GHz**

**Lina Mubarokah
NRP 2212106048**

**Supervisor
Ir. Puji Handayani, MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

**KARAKTERISTIK REDAMAN DAN SHADOWING DALAM
RUANG PADA KANAL RADIO 2,4 GHz**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing


Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 196605101992032001



KARAKTERISTIK REDAMAN DAN SHADOWING DALAM RUANG PADA KANAL RADIO 2,4 GHz

Nama : Lina Mubarakah

Pembimbing : Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRAK

Sistem komunikasi nirkabel menggunakan gelombang elektromagnetik yang melewati kanal radio untuk menyalurkan informasi dari pemancar ke penerima. Kanal radio merupakan bagian dari propagasi pada sistem nirkabel yang memiliki karakteristik tak tentu tergantung pada kondisi lingkungannya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kanal radio diantaranya adalah redaman dan *shadowing*. Pengukuran terhadap kanal radio diperlukan untuk mendapatkan hasil data yang valid dari kondisi yang ada sehingga rugi-rugi lintasan yang terjadi dapat diketahui. Karakteristik rugi lintasan dan *shadowing* dibutuhkan untuk menganalisa bagaimana jalannya suatu sistem dan bagaimana optimasi kinerja sistem dengan menampilkan estimasi *coverage area* yang dapat dilayani oleh sistem tersebut.

Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran menggunakan sistem WARP (*Wireless Open Access Research Platform*) yang terintegrasi dengan software Matlab 2012a pada lingkungan dalam ruang dengan kanal radio 2,4 GHz untuk mengukur level sinyal pada jalur antara pengirim dan penerima. Hasil dari pengambilan data dikalkulasi menggunakan Matlab untuk mendapatkan nilai *pathloss* eksponen, standar deviasi, karakteristik redaman, karakteristik *shadowing* dan juga fungsi distribusi dari *shadowing* yang dihasilkan. Dari data hasil perhitungan karakteristik *pathloss* dan *shadowing* dapat diketahui bahwa kondisi lingkungan sangat berpengaruh terhadap nilai *pathloss* eksponen dan distribusi *shadowing* dan juga cakupan wilayah pada sistem komunikasi propagasi dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz.

Kata kunci : *pathloss*, *shadowing*, kanal radio 2,4 GHz, propagasi *indoor*

CHARACTERISTICS OF ATTENUATION AND SHADOWING ON 2,4 GHz INDOOR RADIO CHANNEL

Name : Lina Mubarokah
Lecture : Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRACT

Wireless communication system use an electromagnetic wave through radio channel to deliver information from transmitter to receiver. Radio channel is a part from propagation in wireless system that have uncertain characteristics depend on environmental condition. There's some factors that affect radio channel characterization, such as attenuation and shadowing. Measurement toward radio channel is needed to get validate data based on real condition in order to occur pathloss. Characteristics of pathloss and shadowing is needed to analyze how the system is performing and how it may be optimized with showing the estimated coverage area that can served by the system.

Data is collected by using WARP (Wireless Open Access Research Platform) that integrated with Matlab 2012a to get signal level measurement between transmitter and receiver link in indoor propagation environment using 2,4 GHz radio channel. The results of the measurement data processed using software Matlab to get the path loss exponent value, standart deviation, attenuation characteristics, shadowing characteristics and distribution fuction of shadowing. From the results of characteristics of pathloss and shadowing data processing can be analyzed that the environmental conditions may affect the value of path loss exponent and shadowing distribution and the coverage area of communication systems in indoor propagation 2,4 GHz radio channel.

Keywords: *pathloss, shadowing, radio channel 2,4 GHz, indoor propagation*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum WR.Wb.

Alhamdulillahahirabbil'alamin. Saya panjatkan puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya atas kesempatan untuk mengerjakan tugas akhir ini dengan judul :

“KARAKTERISTIK REDAMAN DAN SHADOWING DALAM RUANG PADA KANAL RADIO 2,4 GHz”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini penulis telah terbantu oleh beberapa pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Almarhum bapak dan ibu serta keluarga penulis yang selalu mengingatkan, menghibur, mendukung dan memberi semangat untuk jangan menyerah mendapatkan ilmu sebanyak-banyaknya.
2. Ibu Puji Handayani yang dengan penuh kesabaran membimbing penulis. Bapak Prof. Gamantyo, Bapak Prasetyono dan Ibu Devy Kuswidiastuti yang telah memberikan masukan.
3. Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro, khususnya prodi Telekomunikasi Multimedia yang telah menyemangati dan memberi bantuan pada saat menjalani masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
4. Seluruh Dosen dan staff ITS serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa didalam pembuatan buku tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Penulis berharap agar buku ini dapat memberikan sumbangan yang berarti dan semoga dapat memberikan manfaat bagi para mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada khususnya serta dapat memberikan nilai lebih bagi para pembaca pada umumnya. Akhir kata, segala kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk pengembangan selanjutnya.

Wassalamu'alaikum WR.Wb.

Surabaya, Desember 2014

Lina Mubarakah

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I <u>P</u> ENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB II <u>D</u> ASAR TEORI	5
2.1 Komunikasi Nirkabel	5
2.2 Frekuensi Gelombang Radio	7
2.3 Propagasi Gelombang Radio	8
2.4 Sistem Komunikasi <i>Single Input Single Output</i> (SISO)	10
2.5 Model Kanal Propagasi	11
2.6 Propagasi Dalam Ruang	12
2.7 Link Budget	13
2.7.1 <i>Path loss</i>	15
2.7.2 Free Space Los	16
2.7.3 Model Empiris <i>Path loss</i>	16
2.5.4 Effective Isotropically Radiated Power (EIRP)	18
2.5.5 Receive Signal Level (RSL)	18
2.6 Log-Normal Shadowing	19
2.7 <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i>	20
2.8 Efek <i>Shadowing</i> Terhadap <i>Coverage Area</i>	22

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Pengukuran	26
3.1.1 Wireless Open-Access Research Platform (WARP)	27
3.1.2 Antenna	34
3.1.3 Lokasi Pengukuran	34
3.2 Skenario Pengukuran	36
3.3 Data Pengukuran	39
3.4 Karakteristik Redaman dan <i>Path loss</i> Eksponen	41
3.4.2 Karakteristik Shadowing	42
3.4.3 Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test)	42
BAB IV ANALISA HASIL	43
4.1 Link Budget	43
4.2 Analisa Hasil Pengukuran	45
4.2.1 Karakteristik Redaman	46
4.2.2 Karakteristik Shadowing	48
4.2.3 Kolmogorov-Smirnov Test	49
4.2.4 Presentase Coverage Area	50
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
LAMPIRAN	59
DAFTAR PUSTAKA	59
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Band Frekuensi	8
Tabel 2. 2 Nilai pathloss eksponen (n) secara umum [6]	17
Tabel 2. 3 Pathloss Eksponen Kanal <i>Indoor</i> Untuk WLAN 802.11 Pada Frekuensi 2,4 GHz [8]	18
Tabel 2. 4 Nilai $c_{n,\alpha}$ untuk α 0,01 s/d 0,2 dan $n = 5$ s/d 50	21
Tabel 3. 1 Spesifikasi Antena omni L-Com model RE07U	34
Tabel 3. 2 Penentuan parameter pengukuran	38
Tabel 3. 3 Data Hasil Pengukuran	39
Tabel 4. 1 Link Budget Komunikasi Dalam Ruang Pada Kanal Radio 2,4 GHz	45
Tabel 4. 2 Presentase Coveage Area Pada Propagasi Dalam Ruang Lab. Telekomunikasi Multimedia	52
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai Karakteristik Redaman dan Shadowing Dalam Ruang Pada Kanal Radio 2,4 GHz Lab Telekomunikasi Multimedia	52
Tabel 4. 4 <i>Pathloss exponent</i> (n) dan Standar Deviasi Untuk Beberapa Tipe Bangunan pada Frekuensi 914 MHz	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	3
Gambar 2. 1 Tipe Sistem Komunikasi Nirkabel	7
Gambar 2. 2 Klasifikasi kanal fading	9
Gambar 2. 3 Tiga macam skala variasi sinyal bergerak [1]	10
Gambar 2. 4 Sistem komunikasi SISO	11
Gambar 2. 5 Gambaran Mekanisme Propagasi Dalam Ruang	13
Gambar 2. 6 Path loss vs. jarak dari transmitter [5]	15
Gambar 3. 1 Blok diagram metode penelitian	25
Gambar 3. 2 Peralatan pengukuran	26
Gambar 3. 3 Blok pengaturan pengukuran.....	27
Gambar 3. 4 Komponen – komponen utama arsitektur WARP	27
Gambar 3. 5 Diagram blok node WARP	28
Gambar 3. 6 FPGA Board WARP Versi 2.2	29
Gambar 3. 7 Radio board WARP	30
Gambar 3. 8 Arsitektur radio board.....	30
Gambar 3. 9 TX Output power vs Gain Setting pada MAX2829	31
Gambar 3. 10 Gain RX baseband pada MAX2829	32
Gambar 3. 11 Perbandingan tegangan terima RSSI dengan daya terima pada MAX2829	33
Gambar 3. 12 Antenna 2.4 GHz.....	34
Gambar 3. 13 Denah Pengukuran B305 dan B306	35
Gambar 3. 14 Denah Pengukuran B304 dengan Tx berada di B306	35
Gambar 3. 15 Tampilan pada command window Matlab apabila sambungan antar Node WARP dan Matlab pada PC/Laptop berhasil	37
Gambar 3. 16 Pola Perubahan Posisi Antena Penerima	38
Gambar 4. 1 Grafik Perhitungan <i>Free Space Loss</i>	43
Gambar 4. 2 Grafik RSL (<i>Receive Signal Level</i>).....	44
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai RSL Secara Teori menggunakan <i>Free Space Loss</i> vs. Pengukuran.....	46
Gambar 4. 4 Penyebaran <i>Pathloss</i> terhadap Fungsi Jarak.....	47
Gambar 4. 5 Karakteristik <i>Shadowing</i> Dalam Ruang Lab. Teknik Telekomunikasi Multimedia	49
Gambar 4. 6 Grafik <i>Cumulative Distribution Function</i> Secara Empiris dan Teori Terhadap Karakteristik <i>Shadowing</i>	50

Gambar 4. 7 Presentase Coverage Area	51
Gambar 4. 8 Penyebaran <i>pathloss</i> pada <i>Office Building 2</i> Frekuensi 914 MHz.....	54
Gambar 4. 9 Prediksi Model secara Teoritis dan Pengukuran pada perpustakaan umum Universitas Patras	54
Gambar 4. 10 Rata- rata Daya Terima pada Model Prediksi Multi-Wall- Floor (MWF) vs. Pengukuran	55
Gambar 4. 11 Perbandingan Daya Terima pengukuran dengan Referensi [14].....	56
Gambar 4. 12 Perbandingan Nilai Pathloss Pengukuran dengan Referensi [13].....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi di dunia telekomunikasi memunculkan inovasi baru untuk meningkatkan kecepatan akses data. Untuk menyalurkan data diperlukan suatu media agar komunikasi dapat berlangsung dan informasi dapat tersampaikan. Udara sebagai media propagasi komunikasi radio untuk menyalurkan informasi dari pemancar ke penerima memiliki berbagai kendala akibat adanya penghalang di lingkungan sekitarnya. Kendala tersebut antara lain refraksi, difraksi, refleksi, dan absorpsi yang dapat memicu terjadinya Redaman dan *Shadowing*.

Propagasi merupakan proses perambatan gelombang radio dari antenna pemancar ke antenna penerima. Redaman propagasi (*Path loss*) merupakan efek dari turunnya level daya sinyal akibat menempuh jarak tertentu. Kondisi lingkungan propagasi seperti penghalang diantara pemancar dan penerima akan memicu terjadinya refraksi, difraksi, refleksi, dan absorpsi. Hal ini merupakan fenomena yang dapat mempengaruhi besarnya nilai redaman sepanjang jalur propagasi.

Fading merupakan fenomena terjadinya variasi amplitudo dan/atau fasa relatif pada satu atau lebih komponen frekuensi sinyal yang diterima. Salah satu bentuk *fading* adalah *shadowing* yang merupakan fluktuasi daya rata-rata sinyal terima di sepanjang lingkungan propagasi komunikasi bergerak dengan perubahan sinyal yang lambat. Fenomena *shadowing* terjadi karena adanya penghalang antara pemancar dan penerima di lingkungan yang memiliki kontur menonjol.

Dari keterangan diatas, berbagai masalah yang terjadi akibat gangguan yang ada pada kanal propagasi sangatlah berpengaruh pada kelangsungan komunikasi antara pengirim dan penerima. Untuk itu, diperlukan pemetaan karakteristik dalam mengatasi masalah tersebut. Pengukuran diperlukan untuk mendapatkan hasil data yang valid dari kondisi yang ada agar rugi-rugi lintasan yang terjadi dapat diketahui. Pemetaan karakteristik diperlukan untuk menampilkan bagaimana jalannya suatu sistem dan bagaimana optimasi kinerja sistem dengan menampilkan estimasi *coverage area* yang dapat dilayani oleh sistem tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana memperhitungkan nilai *pathloss* dan apa yang mempengaruhi *pathloss* tersebut pada kondisi lingkungan propagasi dalam ruang.
2. Bagaimana karakteristik *shadowing* pada propagasi kanal radio 2,4 GHz dalam ruang.
3. Bagaimana menerapkan WARP sebagai desain pengukuran daya terima pada komunikasi nirkabel SISO pada frekuensi 2,4 GHz.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengukuran dan perhitungan terhadap komunikasi antar dua node WARP dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengukuran dilakukan pada kondisi lingkungan propagasi dalam ruang.
2. Frekuensi kerja yang digunakan dalam pengukuran adalah 2,4 GHz.
3. Pengambilan data dilakukan menggunakan WARP yang telah terintegrasi dengan MATLAB.
4. Perhitungan nilai *pathloss* menggunakan Model Empiris, sedangkan perhitungan nilai *shadowing* menggunakan distribusi Log-Normal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Memodelkan *Path loss* untuk kanal radio 2,4 GHz dalam ruang.
2. Menganalisa karakteristik redaman dan *shadowing* dari data hasil pengukuran yang didapat.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini dijabarkan dengan diagram alir pada gambar 1.1

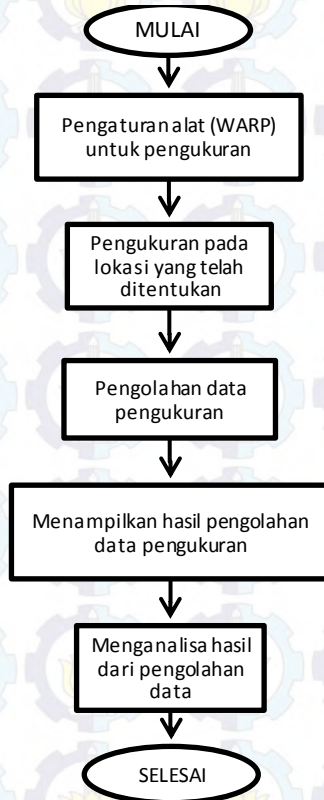
1. Studi Literatur

Pada pengerjaan tugas akhir ini perlu dilakukan pengambilan informasi dari sumber-sumber yang berkaitan dengan:

- Tema pada judul tugas akhir
- Pemodelan sistem komunikasi yang digunakan
- Referensi pemrograman menggunakan modul WARP
- Fungsi kerja WARP dan parameter-parameter yang digunakan
- Pemahaman teori tentang perhitungan nilai *Path loss* dan *shadowing*

2. Metode pengukuran dan perumusan parameter kerja

Pengukuran akan dilakukan menggunakan modul WARP yang terintegrasi *software* MATLAB 2012a dengan kondisi lingkungan pengukuran *indoor*. Pada tahapan ini juga ditentukan pengaturan parameter kerja seperti frekuensi dan daya pancar yang akan ditransmisikan.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3. Analisa dan pengambilan kesimpulan

Hasil pengukuran berupa daya terima kemudian akan dikalkulasi dan dicari nilai *Path loss* serta *shadowing*-nya. Kemudian dari nilai dan grafik yang dihasilkan akan dianalisa pengaruh dan efek yang ditimbulkan akibat *Path loss* serta *shadowing* tersebut. Dari data yang dianalisa kemudian akan diambil kesimpulan.

4. Dokumentasi Penelitian

Tahapan ini merupakan tahapan akhir yang meliputi pembuatan laporan tugas akhir dan penulisan jurnal ilmiah. Pembuatan laporan tugas akhir untuk beberapa bagian dilakukan bersesuaian dengan pengerjaan tahapan-tahapan diatas. Sedangkan jurnal ilmiah dilakukan setelah laporan tugas akhir selesai.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan dari buku proyek akhir ini terdiri dari 5 bab dimana setiap bab mempunyai keterkaitan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan buku laporan proyek akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang pembahasan teori yang menunjang dalam menyelesaikan permasalahan pada proyek akhir ini.

BAB 3 PENGUKURAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang tahapan-tahapan beserta penjelasan implementasi sistem pengukuran dan juga tahapan pengolahan data yang diperoleh dari hasil pengukuran.

BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini berisi tentang analisa hasil pengukuran dan pengolahan data yang telah dihasilkan untuk mengetahui hasil yang didapatkan sesuai dengan teori serta alasan yang sesuai dengan tujuan yang ditetapkan.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan bab-bab sebelumnya serta saran untuk beberapa kemungkinan pengembangan dan penyempurnaan pada proyek akhir ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Komunikasi Nirkabel

Komunikasi nirkabel merupakan suatu bentuk transfer informasi antara dua titik atau lebih yang tidak terhubung oleh konduktor listrik. Sambungan antar titik membutuhkan kanal radio sebagai media penyalur sinyal informasi yang dikirimkan. Selama melewati kanal radio, sinyal melalui berbagai macam halangan selama jalur propagasi. Hal ini menyebabkan terjadinya pelemahan sinyal pada penerima.

Pemahaman mengenai kanal wireless merupakan bagian pokok dari pemahaman tentang operasi, desain dan analisis pada sistem wireless secara keseluruhan. Pengiriman sinyal yang berisi data informasi dibentuk sedemikian rupa agar dapat dikirimkan oleh pemancar melalui kanal. Kanal itu sendiri memodifikasi sinyal yang dikirimkan. Modifikasi tersebut mungkin dapat tidak terprediksi oleh penerima, jadi penerima harus didesain untuk mengatasi modifikasi tersebut agar sinyal informasi dapat diterima dengan kesalahan atau distorsi sesedikit.

Kanal *wireless* merupakan faktor pokok yang membatasi kinerja sistem komunikasi nirkabel. Jarak transmisi antara pemancar dan penerima dapat bervariasi dari LOS (*line of sight*) hingga tertutup oleh penghalang seperti bangunan, bukit dan pepohonan (NLOS). Tidak seperti kanal *wired* yang tetap dan dapat diprediksi, kanal radio bersifat random dan tidak bisa dianalisis dengan mudah. Memodelkan kanal radio merupakan bagian yang paling sulit dalam desain sistem radio bergerak, dan biasanya dilakukan dalam bentuk statistik yang berdasarkan pada hasil pengukuran.

Secara umum terdapat 6 macam tipe sistem komunikasi nirkabel, yakni *Satellite fixed links*, *Terrestrial fixed links*, *Megacell*, *Macrocell*, *Microcell*, dan *Picocells* [1].

- *Satellite fixed link*

Satellite fixed link merupakan jalur komunikasi nirkabel yang dibangun diantara dua stasiun bumi dengan lebar antena yang besar dan dengan satelit orbit bumi geostasioner. Efek propagasi pada komunikasi ini sangat besar akibat atmosfer bumi, termasuk efek meteorologi seperti hujan. Biasanya dioperasikan pada band frekuensi SHF dan EHF.

- *Terrestrial fixed link*

Terrestrial fixed link digunakan untuk membuat jalur kecepatan data tinggi antar titik pada bumi, untuk layanan jaringan telepon dan jaringan data, serta interkoneksi antara *base station* dan sistem seluler. Sistem ini juga digunakan untuk mencakup daerah urban dan sub urban yang luas. Efek yang signifikan pada sistem ini antara lain efek meteorologi, efek halangan kontur bumi, pepohonan dan bangunan. Band frekuensi yang sering digunakan antara VHF dan EHF.

- *Megacell*

Megacell merupakan sistem komunikasi yang disediakan oleh sistem satelit dengan cakupan yang sangat luas dan kepadatan pengguna yang sedikit. Sebuah single satelit pada orbit bumi rendah biasanya dapat mencakup wilayah seluas 1000 km. Efek propagasi biasanya didominasi oleh objek yang mendekati pengguna, efek atmosfer juga berpengaruh pada saat penggunaan frekuensi tinggi. Kebanyakan sistem megacell beroperasi pada band frekuensi L band dan S band untuk menyediakan layanan *voice* dan data *low-rate*, namun penggunaan frekuensi Ka band dapat dipakai untuk menyediakan akses internet berkecepatan tinggi pada area tertentu.

- *Macrocell*

Macrocell dirancang untuk menyediakan layanan komunikasi bergerak dan penyiaran, biasanya terdapat pada lingkungan *outdoor*, sub urban, rural, dan urban dengan kepadatan trafik yang sedang. Antena *base station* yang ada biasanya dirancang lebih tinggi dari bangunan sekitar, menyediakan radius cell dari 1 km ke puluhan kilometer. Biasanya dioperasikan pada frekuensi VHF dan UHF.

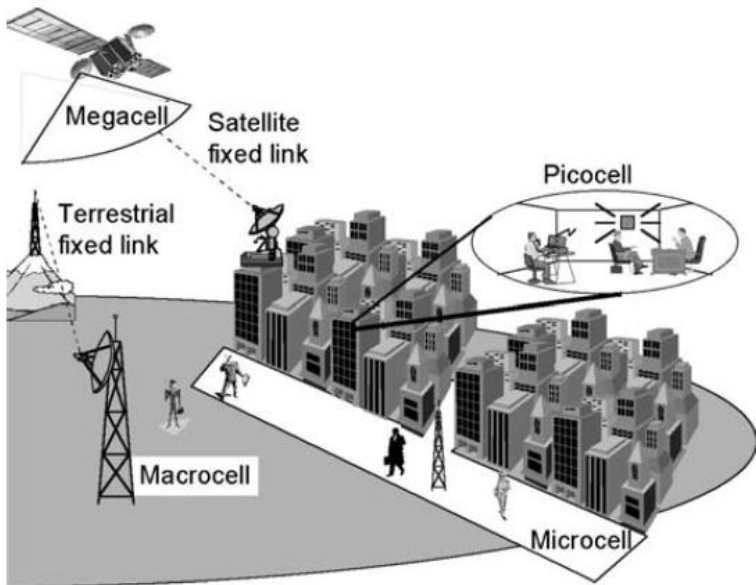
- *Microcell*

Microcell dirancang untuk memenuhi kebutuhan kepadatan trafik yang tinggi pada area urban dan sub urban untuk pengguna baik *outdoor* maupun *indoor*. Antena *base station* lebih rendah dari pada ketinggian bangunan, sehingga wilayah yang dicakup digambarkan dengan rancangan jalan dengan luas cell sekitar 500 m dan dioperasikan ada pada VHD dan UHF.

- *Picocell*

Picocell memenuhi kebutuhan kepadatan trafik yang tinggi atau kecepatan data tinggi yang aplikasinya digunakan pada lingkungan

indoor. Penggunaanya kemungkinan dapat bergerak dan tetap (seperti PC dengan penggunaan WLAN). Cakupan wilayah digambarkan dengan bentuk dan karakteristik ruangan, dan kualitas layanan dipengaruhi oleh adanya peralatan furniture dan keberadaan manusia.



Gambar 2. 1 Tipe Sistem Komunikasi Nirkabel

2.2 Frekuensi Gelombang Radio

Frekuensi pada sistem komunikasi nirkabel memegang peranan penting untuk menyalurkan sinyal informasi. Bagian dari spektrum elektromagnet yang didalamnya termasuk Radio Frequency berkisar antara 30 KHz sampai dengan 300 GHz. Spektrum pembagian frekuensi radio secara internasional dibagi dalam beberapa *band* yang tertera pada tabel 2.1 [2].

Penggunaan frekuensi yang tinggi akan menjadikan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan sulit untuk dipantulkan oleh lapisan bumi sehingga jarak yang ditempuh akan semakin jauh. Untuk penggunaan gelombang dengan frekuensi rendah seperti pada band VLF, gelombang akan dipantulkan kembali ke bumi hampir tegak lurus. Gelombang VLF ini menggunakan propagasi gelombang tanah. Pada band frekuensi HF gelombang dibiaskan dan dipantulkan pada lapisan

ionosfir untuk membentuk sudut tertentu sehingga dapat mencapai jarak yang jauh. Propagasi gelombang pada band frekuensi HF dapat disebut dengan propagasi gelombang langit. Sedangkan pada band VHF, UHF, SHF, dan EHF yang termasuk dalam kategori gelombang mikro tidak dibiaskan sepenuhnya oleh lapisan ionosfir sehingga pancaran gelombangnya akan semakin memudar. Propagasi gelombang pada band tersebut disebut propagasi LOS (*line-of-sight*) karena gelombang yang dipancarkan akan langsung menuju ke antenna penerima.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Band Frekuensi

Frequency band	Frequency range
Extremely low frequency (ELF)	< 3 kHz
Very low frequency (VLF)	3–30 kHz
Low frequency (LF)	30–300 kHz
Medium frequency (MF)	300 kHz–3 MHz
High frequency (HF)	3–30 MHz
Very high frequency (VHF)	30–300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz–3 GHz
Super high frequency (SHF)	3–30 GHz
Extra high frequency (EHF)	30–300 GHz

Penggunaan gelombang mikro sebagai media penyalur pada komunikasi nirkabel memiliki keuntungan tersendiri, antara lain jangkauan yang cukup luas, dimensi antenna yang relatif kecil, dan juga memiliki kendalan tinggi. Oleh sebab itu gelombang mikro sering digunakan untuk aplikasi telekomunikasi jarak jauh, penyiaran radio dan televisi, Wifi, radar, komunikasi seluler, dan aplikasi lainnya.

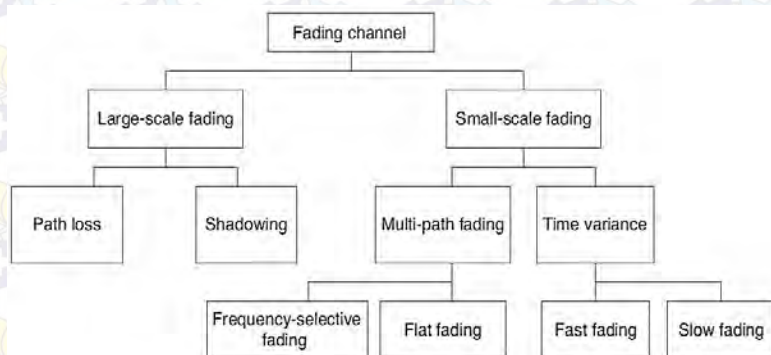
2.3 Propagasi Gelombang Radio

Propagasi merupakan peristiwa perambatan gelombang radio dari antenna pemancar ke antenna penerima yang melewati udara sebagai media penyalur sinyal. Berdasarkan jenisnya, propagasi gelombang radio dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu propagasi dalam ruang (*Indoor*) dan propagasi luar ruang (*Outdoor*). Seluruh pemodelan dasar pada propagasi radio disebut sebagai model propagasi ruang bebas (*free space*). Propagasi ruang bebas terjadi apabila di antara *transmitter* dan *receiver* tidak terdapat penghalang apapun.

Karakteristik unik pada kanal *wireless* adalah *fading* yang merupakan variasi dari amplitudo sinusoidal terhadap waktu dan

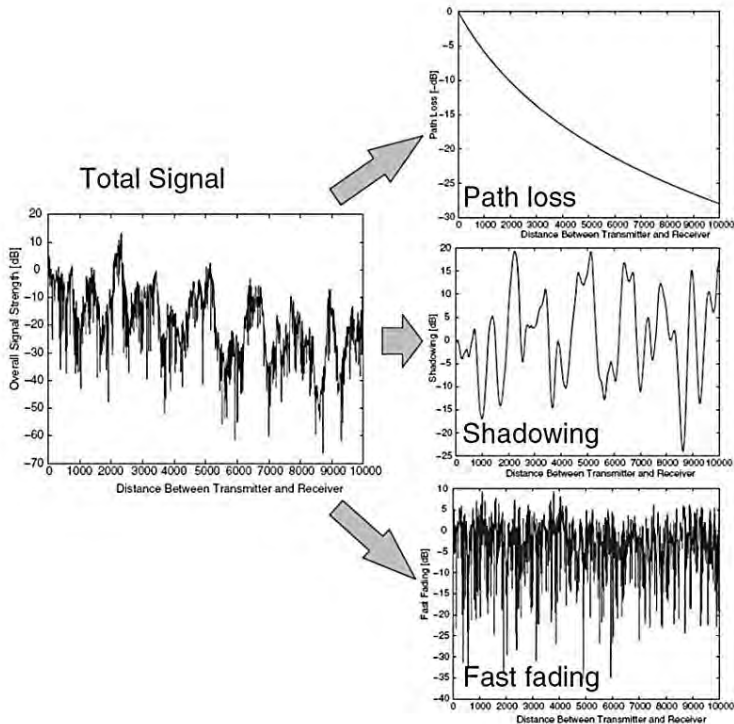
frekuensi. Berbeda dengan noise aditif sebagai sumber yang paling umum dari degradasi sinyal, *fading* adalah sumber dari pelemahan sinyal yang ditandai sebagai gangguan sinyal non-aditif dalam saluran nirkabel. *Fading* dapat disebabkan oleh multipath propagasi dan menyebabkan lintasan yang ditempuh menjadi lebih panjang disebut sebagai *multi-path fading*. Penyebab *fading* yang lain dapat pula disebabkan oleh bayangan dari halangan yang mempengaruhi perambatan gelombang radio dan disebut sebagai *shadow fading*.

Fenomena *fading* secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yang berbeda: *fading* skala besar dan skala kecil. *Large Scale Fading* terjadi karena penerima bergerak melewati jarak yang jauh. Hal ini disebabkan oleh pathloss sinyal sebagai fungsi jarak dan shadowing akibat benda-benda besar seperti bangunan, intervensi medan, dan tumbuhan. *Shadowing* adalah proses *slow fading* yang ditandai dengan variasi rata-rata *pathloss* antara pemancar dan penerima di lokasi yang tetap. Dengan kata lain, *large scale fading* ditandai dengan rata-rata path loss dan *shadowing*. Di sisi lain, *small fading* mengacu pada variasi cepat level sinyal karena interferensi konstruktif dan destruktif dari beberapa jalur sinyal (*multipath*) ketika penerima bergerak pada jarak yang pendek. Berdasarkan pada tingkat relatif multipath, selektivitas frekuensi saluran dikarakterisasi sebagai *small-scale fading*. Sedangkan berdasarkan pada variasi waktu pada kanal karena kecepatan penerima (ditandai dengan *Doppler Spread*), *small-scale fading* dapat diklasifikasikan sebagai *fast fading* atau *slow fading*. Gambar 2.1 mengklasifikasikan tentang jenis kanal *fading*.



Gambar 2. 2 Klasifikasi kanal fading

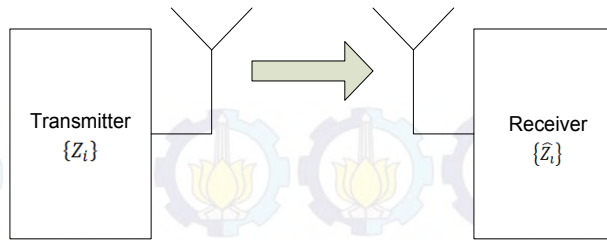
Penurunan level sinyal akibat *shadowing* ini adalah bersifat lambat. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk menganalisis efek *shadowing* ini adalah dengan menggunakan distribusi log normal. Redaman propagasi (*path loss*) adalah besarnya daya yang hilang dalam menempuh jarak tertentu. Redaman sangat dipengaruhi oleh jarak antara pemancar dengan penerima dan frekuensi yang digunakan.



Gambar 2. 3 Tiga macam skala variasi sinyal bergerak [1]

2.4 Sistem Komunikasi *Single Input Single Output* (SISO)

Sistem komunikasi yang paling sederhana adalah sistem komunikasi antara satu pengirim dan satu penerima (*point to point*) atau yang biasa disebut dengan sistem komunikasi *single input single output* (SISO). Sistem komunikasi ini memiliki kelebihan antara lain interferensi sinyal yang sedikit, lebih murah dan mudah diterapkan karena hanya membutuhkan satu antena pengirim dan satu penerima, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2. 4 Sistem komunikasi SISO

Kanal pada lingkungan dalam ruang berhubungan dengan daerah cakupan yang kecil di dalam gedung, seperti perkantoran dan pusat perbelanjaan. Karena lingkungan ini tertutup oleh dinding, *Power Azimuth Spectrum* (PAS) cenderung seragam, yaitu komponen yang tersebar akan diterima dari segala arah dengan kekuatan yang sama. Selain itu, saluran cenderung statis karena mobilitas yang sangat rendah dari user yang ada di dalam gedung. Namun, pada kanal lingkungan dalam ruang, kondisi kanal dapat bervariasi tergantung waktu dan lokasi.

Secara umum, kanal statis mengacu pada lingkungan di mana kondisi kanal tidak berubah selama transmisi data pada waktu dan lokasi tertentu. Hal ini berlawanan dengan lingkungan waktu bervariasi di mana komponen hamburan (benda atau orang) sekitar pemancar atau penerima yang terus bergerak bahkan saat penerima tidak bergerak. Dalam sistem komunikasi digital nirkabel, tingkat variasi waktu dalam kekuatan sinyal relatif terhadap durasi simbol. Dengan kata lain, kondisi kanal dapat dianggap statis ketika tingkat variasi waktu relatif kecil sehubungan dengan durasi simbol. Situasi ini disebut sebagai kondisi kanal kuasi-statis. Kanal dalam ruang biasanya dimodelkan dengan asumsi memiliki kondisi kanal statis atau quasi-static.

2.5 Model Kanal Propagasi

Karakteristik-karakteristik kanal dapat diestimasi dengan berbagai cara dan metode. Model kanal propagasi merupakan model estimasi karakteristik kanal dan memiliki peran yang sangat penting dalam perencanaan jaringan nirkabel, terutama untuk penentuan *coverage area* dan penentuan persyaratan RF bagi perangkat pengirim maupun perangkat penerima.

Secara umum, model kanal propagasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu :

- Model empirik
Model yang diturunkan dari hasil pengukuran lapangan di lokasi-lokasi yang dianggap mewakili sampel lingkungan *wireless*.
- Model Deterministik
Model yang dikembangkan dari teori propagasi gelombang elektromagnetik dan digunakan untuk perhitungan daya panacar di lokasi yang ditinjau.
- Model stokastik
Model yang menyertakan peubah acak sebagai representasi kondisi lingkungan yang berubah dari waktu ke waktu dan dari satu lokasi ke lokasi lain.

Dari ketiga model kanal propagasi di atas, model kanal propagasi empirik merupakan model yang paling banyak digunakan untuk penelitian karena kemudahan penggunaan serta toleransi terhadap ketidaktersediaan informasi *terrain*.

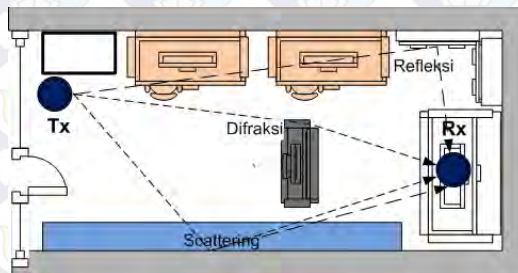
2.6 Propagasi Dalam Ruang

Pada lingkungan propagasi dalam ruang karakteristik kanal dapat berubah dengan drastis dalam waktu yang singkat dan jarak yang pendek. Faktor yang mempengaruhi karakteristik kanal pada lingkungan propagasi dalam ruang antara lain variasi ukuran, bentuk, struktur dan material bangunan, dan juga kepadatan dan pergerakan pengguna. Penghalang berupa dinding, pintu, perabotan yang ada dan juga adanya manusia dapat menyebabkan rugi sinyal yang signifikan. Hal ini tentunya mempengaruhi besarnya daya sinyal yang diterima.

Kanal propagasi radio dalam ruang berbeda dengan kanal propagasi radio luar ruang. Terdapat dua aspek perbedaan untuk jenis kanal radio dalam ruang yakni jarak jangkauan yang semakin pendek dan variabel lingkungan yang semakin banyak. *Multipath* cenderung lebih parah pada lingkungan dalam ruang, jalur LOS mungkin tidak ada, dan karakteristik lingkungan dapat berubah secara drastis dalam waktu yang sangat singkat. *Pathloss* dalam ruangan dapat berubah secara dramatis terhadap waktu atau posisi, karena jumlah multipath ini dapat terpengaruh oleh pergerakan orang, peralatan, dan/atau pintu yang menutup maupun membuka. Hal-hal ini yang menyebabkan terjadinya mekanisme propagasi dan mengakibatkan perubahan pada amplitudo, fase dan arah perambatan gelombang.

Mekanisme dasar propagasi gelombang elektromagnetik secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu:

- **Refleksi**
Refleksi merupakan pemantulan yang terjadi apabila gelombang mengenai permukaan datar suatu objek. Pantulan tersebut menyebabkan perubahan fasa dan menimbulkan delay.
- **Scattering**
Scattering terjadi ketika sinyal melewati suatu objek yang menyebabkan sinyal dihamburkan dan terpecah-pecah menjadi beberapa sinyal.
- **Difraksi**
Difraksi merupakan pembelokan yang terjadi saat lintasan terhalang oleh suatu objek dengan bentuk yang tajam.



Gambar 2. 5 Gambaran Mekanisme Propagasi Dalam Ruang

2.7 Link Budget

Desain propagasi dalam ruang adalah salah satu tugas yang banyak dibutuhkan analisisnya untuk teknik sistem komunikasi. Sebagaimana yang telah diketahui, propagasi indoor sangat kompleks karena variabilitas benda-benda yang terdapat di lingkungan itu cukup tinggi. Untuk itu, dibutuhkan prediksi yang akurat untuk memperkirakan path loss yang diperlukan, dikombinasikan dengan rugi-rugi dan degradasi kinerja lainnya dalam distribusi sistem komunikasi.

Link budget diperkenalkan sebagai pendekatan yang berguna untuk desain dasar dari sistem komunikasi yang lengkap. Untuk skenario dalam ruang, *link budget* seringkali telah dibangun berdasarkan sistem distribusi tertentu yang digunakan. Kerugian dihitung dengan cara yang berbeda, sebagai sistem distribusi aktif.

Perencanaan *Radio-Frequency* (RF) untuk jaringan seperti sistem seluler atau jaringan *Local Area Network* (LAN) adalah bagian penting dari pemasangan jaringan. Perencanaan yang tidak memadai dapat menyebabkan *overdesign* dan hasilnya melebihi kebutuhan sistem atau bahkan apabila hasilnya di bawah kebutuhan akan menyebabkan kinerja sistem yang buruk. Sebelum perancangan jaringan, parameter kontrol kinerja setiap link harus diketahui. Parameter yang penting adalah kuat sinyal yang diterima, *noise* yang menyertai sinyal yang diterima, dan setiap gangguan saluran tambahan di luar atenuasi, seperti multipath atau interferensi.

Untuk perencanaan link, *link budget* disiapkan untuk memperhitungkan *effective isotropically radiated power* (EIRP) dan semua *loss* pada jalur propagasi sebelum sinyal sampai di penerima [3]. Tergantung pada aplikasinya, desain sistem komunikasi nirkabel *indoor* juga harus memperhitungkan *noise floor* pada penerima untuk menentukan level sinyal yang diperlukan untuk deteksi sinyal. *Link budget* dihitung dalam desibel (dB), sehingga semua faktor pada perhitungannya menjadi faktor yang akan ditambahkan atau dikurangi. Level daya dinyatakan dalam dBm dan konsistensi unit dipertahankan selama analisis *link budget*.

Link margin adalah ukuran berapa margin yang ada di link komunikasi antara titik operasi dan titik di mana link tidak bisa lagi menerima sinyal. *Link Margin* diperoleh dengan membandingkan kuat sinyal yang diterima dengan sensitivitas penerima atau ambang batas (*threshold*). *Link Margin* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Link margin} = \text{EIRP} - L_{\text{path}} + G_{\text{Rx}} - \text{THR}_x \quad (2.1)$$

dimana :

EIRP = *effective isotropically radiated power* (dBm)

L_{path} = *loss* total pada jalur propagasi, termasuk kerugian lain seperti refleksi, dan fade margin (dB)

GRX = Gain penerima (dB)

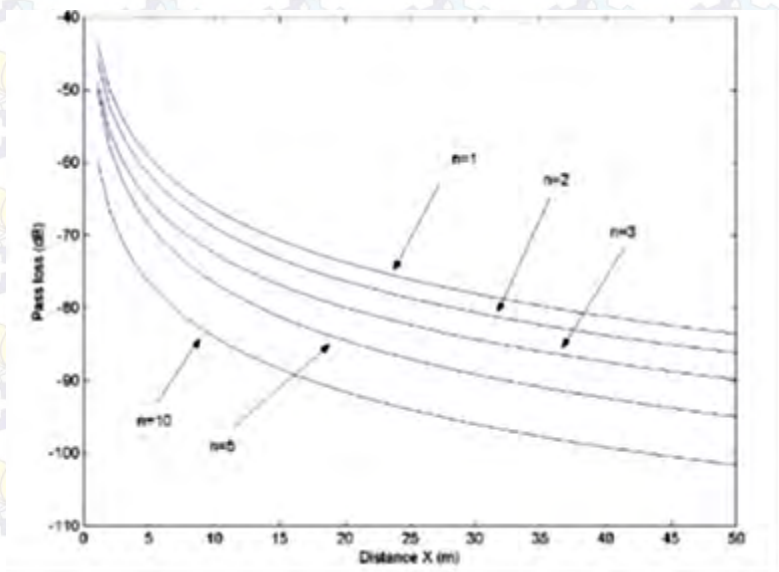
THR_x = ambang batas penerima atau level sinyal minimum yang diterima (dBm)

Link Margin yang tersedia tergantung pada banyak faktor, termasuk jenis modulasi yang digunakan, daya yang ditransmisikan, gain antena, *waveguide* atau *loss* kabel antara pemancar dan antena, radome *loss*, dan yang paling penting adalah *path loss*.

2.7.1 Path loss

Pathloss secara umum didefinisikan sebagai penurunan kuat medan secara menyeluruh sesuai bertambah jauhnya jarak antara pemancar dan penerima. Pengaruhnya sangat kuat, sehingga menimbulkan penurunan level daya pada sinyal yang diterima. Pada propagasi *indoor* nilai *Path loss* dipengaruhi oleh keragaman tata letak bangunan dan konstruksi bangunan. *Pathloss* adalah faktor yang paling penting karena besarnya relatif terhadap ketentuan yang berbeda-beda. Yang termasuk elemen pada path loss yakni *loss* penyebaran geometris atau kerugian ruang bebas serta faktor lingkungan. Istilah *path loss* kadang digunakan untuk merujuk kepada *free-space loss* (FSL) dan kadang mengacu pada seluruh jalur kerugian yang dialami oleh link komunikasi [4].

Pathloss adalah elemen *link budget* utama dalam propagasi RF. Elemen *pathloss* termasuk *free space loss*, *loss* atmosfer karena penyerapan gas dan uap air, curah hujan, *fading loss* akibat *multipath*, dan efek lainnya bergantung pada frekuensi, lingkungan, dan kondisi kanal yang digunakan. Gambar 2.6 menunjukkan grafik karakteristik *pathloss* yang dihasilkan dari perhitungan secara empiris dengan masing-masing parameter pathloss eksponen (n) yang berbeda-beda.



Gambar 2. 6 Path loss vs. jarak dari transmitter [5]

Perhitungan *path loss* biasanya diprediksi. Prediksi yang tepat hanya mungkin untuk kasus-kasus sederhana, seperti propagasi ruang bebas atau model *flat-earth*. Untuk kasus-kasus praktis, *path loss* dihitung menggunakan berbagai pendekatan. Metode statistik (juga disebut stokastik atau empiris) berdasarkan pada rata-rata *loss* diukur sepanjang jalur pada kanal radio, sedangkan metode deterministik berdasarkan pada hukum-hukum fisika seperti rambatan gelombang.

2.7.2 Free Space Los

Free Space Path Loss (FSPL) merupakan rugi kuat sinyal yang dihasilkan dari jalur *line-of-sight* melalui ruang bebas (udara) tanpa adanya hambatan (*obstacle*) yang menyebabkan refleksi maupun difraksi. Propagasi *Free Space Loss* digunakan untuk memprediksi level sinyal yang diterima ketika Tx-Rx memiliki lintasan langsung sehingga didapatkan karakteristik redaman sepanjang lintasan tanpa adanya penghalang (*obstacle*). Pemodelan *free space loss* ditunjukkan oleh persamaan Friis [1] sebagai berikut :

$$L = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.2)$$

Dimana G_t merupakan penguatan pada *transmitter*, G_r penguatan *receiver*, λ panjang gelombang, d jarak antara Tx-Rx dan L adalah faktor sistem *loss* ($L \geq 1$). Gain antenna dibutuhkan untuk pengarahan dan efisiensi antenna, sedangkan jarak terbalik kuadrat dipakai untuk penyebaran *spherical wave-front* (geometris).

Persamaan Friis *free space loss* dapat dinyatakan dalam dB sebagai persamaan berikut :

$$L_{dB} = -G_{t_{dB}} - G_{r_{dB}} - 20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 22 \quad (2.3)$$

Dimana tanda negatif pada persamaan (2.3) disertakan sehingga nilai L_{dB} adalah *loss* pada kenyataannya. Pada banyak aplikasi, gain antenna tidak dimasukkan dalam persamaan *path loss* atau bernilai 1 secara numerik, sehingga persamaannya menjadi persamaan (2.4)

$$L_{dB} = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2.4)$$

2.7.3 Model Empiris Path loss

Model propagasi berdasarkan teori dan pengukuran menunjukkan adanya penurunan level daya sinyal rata-rata secara logaritmik terhadap jarak. Untuk aplikasi kanal radio bergerak, rata-rata *Path loss* fungsi jarak ($PL(d)$) sebanding dengan *Pathloss exponent* (n) dari jarak relative

terhadap jarak referensi [6]. Hal ini diperlihatkan oleh persamaan Model Empiris sebagai berikut :

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (2.5)$$

atau

$$\overline{PL}(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10 n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.6)$$

Dimana $\overline{PL}(dB)$ adalah nilai *Path loss*, $\overline{PL}(d_0)$ adalah *Path loss* pada saat jarak referensi dan n adalah nilai *Path loss* eksponen. Jarak referensi biasanya bernilai antara 1 - 10 meter untuk indoor dan 10 – 100 meter untuk outdoor [7].

Pathloss eksponen merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam menentukan batas kritis dari cakupan wilayah dan kapasitas sistem komunikasi radio. Parameter tersebut dapat dicari dengan berdasarkan pada data pengukuran yang dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti tinggi antenna, frekuensi, panjang jalur propagasi dan kondisi lingkungan sekitar. Secara umum, parameter n dapat dikelompokkan sesuai kondisi pada lingkungannya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Nilai pathloss eksponen (n) secara umum [6]

Environment	Path Loss Exponent, n
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

Pada literatur lain, nilai pathloss eksponen khususnya untuk propagasi dalam ruang dapat bernilai lebih kecil [8]. Penelitian berdasarkan karakteristik kanal *indoor* untuk WLAN 802.11 pada frekuensi 2,4 GHz berdasarkan pengukuran terhadap koridor tertutup, koridor terbuka, ruang kelas, dan juga lab komputer. Nilai pathloss eksponen yang dihasilkan terlihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 3 Pathloss Eksponen Kanal *Indoor* Untuk
WLAN 802.11 Pada Frekuensi 2,4 Ghz [8]

Skenario Pengukuran	Path Loss Exponent (n)		Standar Deviasi (σ)	
	AP 1	AP 2	AP 1	AP 2
<i>Open corridor</i>	1.688	1.63	3.5773	3.2642
<i>classroom</i>	1.258	1.263	3.7607	4.053
<i>computer lab</i>	1.447	1.428	3.7049	3.846

2.5.4 Effective Isotropically Radiated Power (EIRP)

EIRP (*Effective Isotropically Radiated Power*) adalah total daya antenna isotropik secara teoritis yang akan dipancarkan untuk menghasilkan kerapatan daya puncak yang diamati pada arah dari gain maksimal antenna. EIRP dapat memperhitungkan kerugian di saluran transmisi dan konektor dan termasuk gain dari antenna. EIRP sering dinyatakan dalam dB dengan daya referensi yang dipancarkan oleh radiator isotropik dengan daya sinyal yang setara. EIRP memungkinkan perbandingan antara pemancar yang berbeda terlepas dari jenis, ukuran atau bentuk. Dengan EIRP serta gain antenna yang diketahui mungkin untuk menghitung daya yang nyata dan nilai kuat medan.

EIRP dapat dihitung menggunakan persamaan [6] :

$$EIRP(dB) = PTx(dBm) + GTx(dB) \quad (2.7)$$

dimana PTx adalah daya pada transmitter dan GTx adalah Gain pada transmitter.

2.5.5 Receive Signal Level (RSL)

Receive Signal Level (RSL) mengindikasikan berapa daya yang dapat diterima oleh *receiver* dari EIRP dan pathloss yang telah diperhitungkan sebelumnya. RSL dapat dicari dengan persamaan :

$$RSL(dBm) = EIRP(dBm) - PL(dB) + Grx(dB) \quad (2.8)$$

dimana G_{Rx} adalah gain antenna penerima, L_{Radome} rugi radome, kabel atau kehilangan Waveguide (rugi receiver), kerugian polarisasi, dan menunjuk kerugian. Alokasi untuk kerugian akibat ketidakcocokan impedansi antara antenna dan penerima juga dapat dimasukkan sebagai item baris di bagian ini (lihat Bagian 3.2.5 untuk rincian). Kerugian polarisasi ini disebabkan oleh rasio aksial mengirim dan

menerima antenna dan orientasi relatif mereka. Kerugian polarisasi, dibahas dalam Bagian 3.5.2, ditentukan dengan menggunakan kondisi terburuk dan kemudian diperlakukan sebagai konstan karena tidak biasanya besar dan karena itu akan tetap tetap untuk geometri tertentu. Untuk anggaran link ini, net menerima keuntungan diberikan oleh

2.6 Log-Normal Shadowing

Penelitian yang melibatkan pengukuran pada berbagai jarak menunjukkan bahwa nilai $\overline{PL}(dB)$ bersifat acak dan terdistribusi *log-normal*. Distribusi *log-normal* menjelaskan adanya efek acak *shadowing* yang terjadi pada banyak lokasi pengukuran dengan jarak antar Tx-Rx sama, namun memiliki *level clutter* berbeda pada jalur propagasi. Fenomena ini dinamakan *log-normal shadowing*.

Log-normal shadowing menjelaskan nilai rata-rata *Path loss* terhadap jarak pada level sinyal yang terukur dengan jarak Tx-Rx yang terdistribusi Gaussian. Probabilitas level sinyal yang diterima melewati level tertentu dapat ditentukan menggunakan *Q-function* atau *error function (erf)* yang terdefiniskan sebagai [6] :

$$\begin{aligned} Q(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

Error function (erf) didefinisikan sebagai :

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2} dx \quad (2.7)$$

Sehingga, probabilitas level sinyal yang diterima akan melewati nilai batas *threshold*, γ bisa dihitung dari cumulative density function sebagai :

$$Pr[\Pr(d) > \gamma] = Q\left(\frac{\gamma - \overline{Pr(d)}}{\sigma}\right) \quad (2.8)$$

Dimana γ adalah level *threshold*, $\overline{Pr(d)}$ adalah daya yang diterima pada jarak d dari pemancar, σ adalah standar deviasi.

2.7 Kolmogorov-Smirnov Test

Karakteristik statik suatu parameter yang diperoleh dari hasil pengukuran dapat dimodelkan dengan distribusi teoritis yang dapat merepresentasikan suatu distribusi data. Untuk menguji kebenaran suatu distribusi teoritis, salah satu metodenya adalah dengan menggunakan pengujian distribusi variabel acak kontinyu *Kolmogorov-Smirnov (K-S Test)*. *K-S Test* berdasarkan statistik yang mengukur nilai maksimum mutlak dari selisih *cumulative histogram* yang diamati ($F^0[x]$) dengan teori *cumulative distribution function (cdf)* ($F_x[x]$) seperti persamaan :

$$\begin{aligned} D_2 &= \max_{1 \leq i \leq n} \{ |F^0[x_{(i)}] - F_x[x_{(i)}]| \} \\ &= \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \left| \frac{i}{n} - F_x[x_{(i)}] \right| \right\} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dimana x merupakan variabel acak yang diuji yang diurutkan mulai dari nilai terendah ke nilai tertinggi.

Pada derajat signifikan α tertentu, hipotesa ditolak jika nilai $D_2 > c_{n,\alpha}$ sebaliknya, hipotesa diterima jika nilai $D_2 < c_{n,\alpha}$. Nilai $c_{n,\alpha}$ diberikan pada Tabel 2.3. Nilai ini akan menentukan apakah data statistik yang digunakan terdistribusi normal atau tidak.

Nilai $F_x[x]$ dapat ditentukan menggunakan teori *cumulative distribution function (cdf)* berdasarkan pada nilai mean m dan standar deviasi σ dari x . Ada beberapa teori distribusi yang bisa digunakan untuk memodelkan distribusi data, yakni :

- Distribusi Log-Normal

$$Fu(u) = \frac{1}{(2\pi)^{0.5}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Dengan $u = \left(\frac{x-m}{\sqrt{\sigma^2}} \right)$ dimana x merupakan data yang akan dicari distribusinya, m adalah rata-rata dan σ adalah standar deviasi.

- Distribusi Rayleigh

$$P(R) = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}$$

Dengan $\sigma = \mu_r \sqrt{\frac{2}{\pi}}$ atau $\sigma = \frac{\sigma_r}{\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}}$ dimana μ_r adalah rata-rata

dan σ_r adalah standar deviasi hasil pengukuran.

- Distribusi Rician

$$P(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{\frac{-r^2 + A^2}{2\sigma^2}} x I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & \text{untuk } (A \geq 0, r \geq 0); \\ 0 & \text{untuk } (r < 0) \end{cases}$$

Tabel 2. 4 Nilai $c_{n,\alpha}$ untuk α 0,01 s/d 0,2 dan $n = 5$ s/d 50

$n \backslash \alpha$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Pada pemodelan fading skala besar seperti *shadowing* biasanya digunakan Distribusi Log-Normal untuk menentukan model statistik yang terjadi. Sedangkan untuk fading skala kecil biasa digunakan teori distribusi Rayleigh atau Rician.

2.8 Efek Shadowing Terhadap Coverage Area

Efek dari *shadowing* yang bersifat acak menyebabkan beberapa lokasi pada *coverage area* yang seharusnya tercakupi berada dibawah level *threshold* sinyal terima. Karakteristik *shadowing* diperlukan untuk menghitung presentase area yang tercakup pada nilai *threshold* tersebut. Pada *coverage area* yang berbentuk lingkaran dengan radius R dari pemancar, presentase *coverage area* $U(\gamma)$ dapat dihitung menggunakan *threshold* (γ) yang nilainya lebih kecil dari/atau sama dengan nilai level daya terima[3]. Asumsi jarak radial dari pemancar $d = r$, probabilitas level sinyal pada jarak yang diterima $\Pr[Pr(r) > \gamma]$, dan melewati *threshold* γ , dalam area dA , $U(\gamma)$ dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} U(\gamma) &= \frac{1}{\pi R^2} \int \Pr[Pr(r) > \gamma] dA \\ &= \frac{1}{\pi R^2} \int_0^{2\pi} \int_0^R \Pr[Pr(r) > \gamma] r dr d\theta \end{aligned} \quad (2.9)$$

Dengan nilai $\Pr[Pr(d) > \gamma]$ diberikan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Pr[Pr(d) > \gamma] &= Q\left(\frac{\gamma - \overline{Pr(r)}}{\sigma}\right) \\ &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma - \overline{Pr(r)}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \\ &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma - \left[P_t - \left(PL(d_0) + 10 n \log\left(\frac{r}{d_0}\right)\right)\right]}{\sigma\sqrt{2}}\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Jika nilai *Path loss* pada batas cell ($r = R$) adalah

$$PL(r) = PL(d_0) + 10 n \log\left(\frac{R}{d_0}\right) + 10 n \log\left(\frac{r}{R}\right) \quad (2.11)$$

Maka persamaan probabilitas level sinyal yang diterima adalah :

$$\Pr [Pr(d) > \gamma] = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{\gamma - \left[Pt - \left(PL(d_0) + 10 n \log \left(\frac{R}{d_0} \right) + 10 n \log \left(\frac{r}{R} \right) \right] \right]}{\sigma \sqrt{2}} \right) \quad (2.12)$$

Jika diasumsikan :

$$a = \frac{\gamma - Pt + PL(d_0) + 10 n \log \left(\frac{R}{d_0} \right)}{\sigma \sqrt{2}} \quad (2.13)$$

$$b = \frac{10 n \log e}{\sigma \sqrt{2}} \quad (2.14)$$

Maka persamaan presentase *coverage area* menjadi :

$$U(\gamma) = \frac{1}{2} - \frac{1}{R^2} \int_0^R r \operatorname{erf} \left(a + b \ln \frac{r}{R} \right) dr \quad (2.15)$$

Dengan menggunakan substitusi $y = a + b \log \frac{r}{R}$ maka presentase *coverage area* menjadi :

$$U(\gamma) = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf}(a) + \exp \frac{1-2ab}{b^2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1-ab}{b} \right) \right] \right) \quad (2.16)$$



BAB III

METODE PENELITIAN

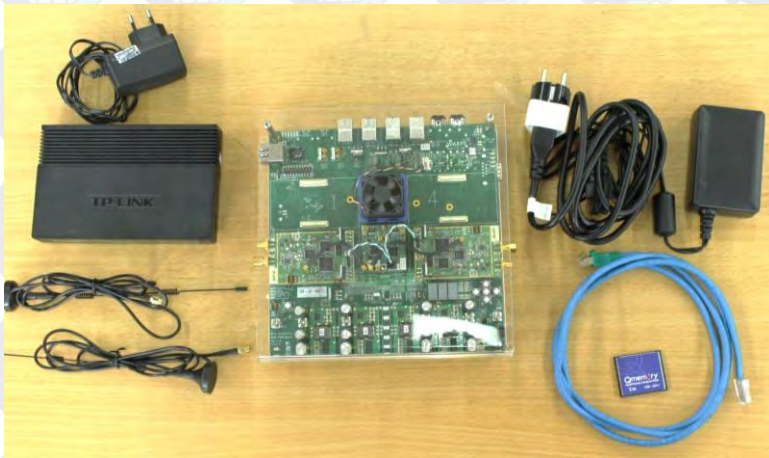
Hal yang akan dibahas pada bab ini adalah metode yang digunakan untuk melakukan penelitian. Tahapan-tahapan yang akan dilakukan antara lain pengukuran terhadap sistem komunikasi WARP, pengambilan data pengukuran, perumusan analisa untuk menentukan karakteristik redaman dan *shadowing*, serta mendapatkan karakteristik statik untuk merepresentasikan distribusi data yang diambil.



Gambar 3. 1 Blok diagram metode penelitian

3.1 Pengukuran

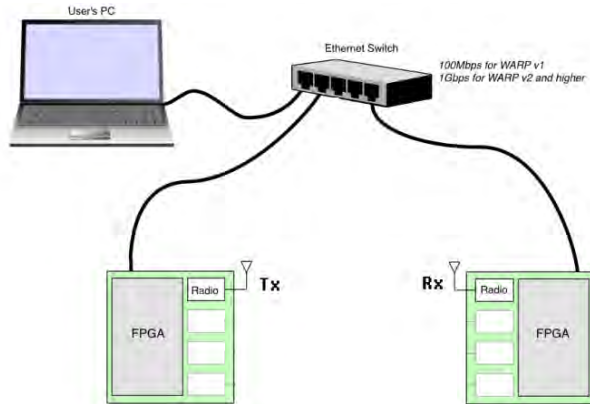
Pengukuran diambil menggunakan modul WARP yang terhubung dengan Gigabit ethernet dan PC/laptop dengan Matlab didalamnya sebagai media eksekusi program berisi data/informasi yang akan ditransmisikan. Adapun peralatan yang diperlukan dalam proses pengukuran seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Peralatan pengukuran

Dua komponen utama WARP yakni FPGA board dan radio board. Sedangkan peralatan pendukung yang lain adalah antenna 2.4 GHz, CF card, kabel UTP, *power supply*, dan *switch* Gigabit Ethernet.

- **FPGA board**
Merupakan inti pemrosesan SDR. Pada implementasi dengan sysgen misalnya, *High Density Language* (HDL) dapat diprogram pada FPGA.
- **Radio board**
Merupakan interface dari domain digital ke domain analog. Pada proses konversi dari digital ke analog dan sebaliknya, radio board menggunakan A/D (Analog-to-Digital) dan D/A (Digital-to-Analog) converter. Radio board juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*.

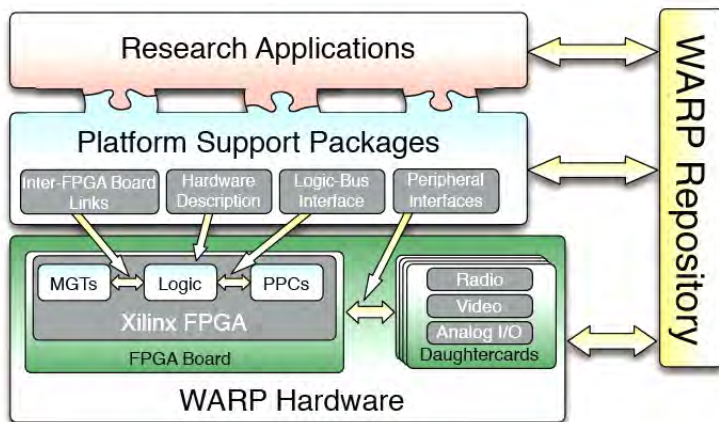


Gambar 3. 3 Blok pengaturan pengukuran

3.1.1 Wireless Open-Access Research Platform (WARP)

Wireless Open-Access Research Platform (WARP) merupakan salah satu perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat prototype jaringan wireless. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang bisa diprogram dengan *repository open-source*.

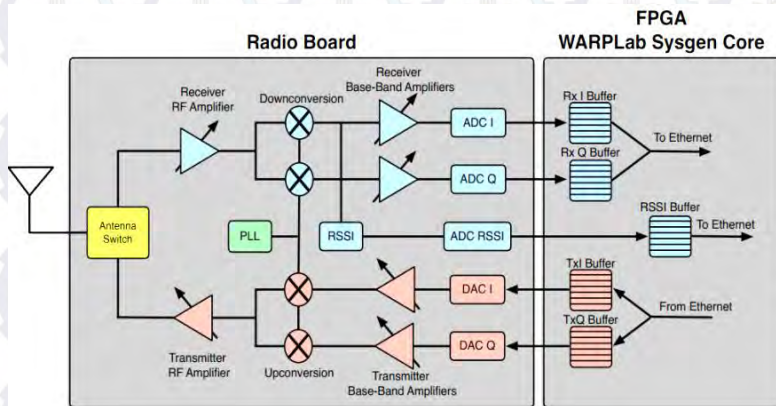
Arsitektur platform WARP dengan 4 komponen utama ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Komponen – komponen utama arsitektur WARP

1. *Custom Hardware*: desain *Custom hardware* disesuaikan untuk kebutuhan komunikasi *wireless* dengan kinerja yang tinggi. *Hardware* menyediakan sumber daya tinggi yang mampu diimplementasikan pada kecepatan algoritma, dapat terukur interkoneksinya untuk mengalokasikan lebih banyak kekuatan pemrosesan yang diperlukan, dan pilihan periferal yang diperluas untuk radio, prosesor khusus dan antarmuka ekspansi lainnya.
2. *Platform Support Packages*: perangkat-perangkat dan modul *interface* level rendah (*low-level*) yang didesain untuk memungkinkan penggunaan perangkat oleh para peneliti pada semua lapisan (*layer*) dari desain jaringan *wireless*.
3. *Open-Access Repository*: Penyimpanan untuk semua file-file *source-code*, model dan desain *hardware*. Semua konten tersebut akan tersedia di bawah lisensi BSD.
4. *Research Application*: Implementasi dari algoritma-algoritma, dengan *custom hardware* dan paket pendukung platform Sistem secara keseluruhan yang menggabungkan antara algoritma-algoritma dapat dengan cepat dibangun menggunakan standard modul yang disediakan dalam *repository*.

Secara umum, sistem WARP dapat dijelaskan dengan diagram blok pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram blok node WARP

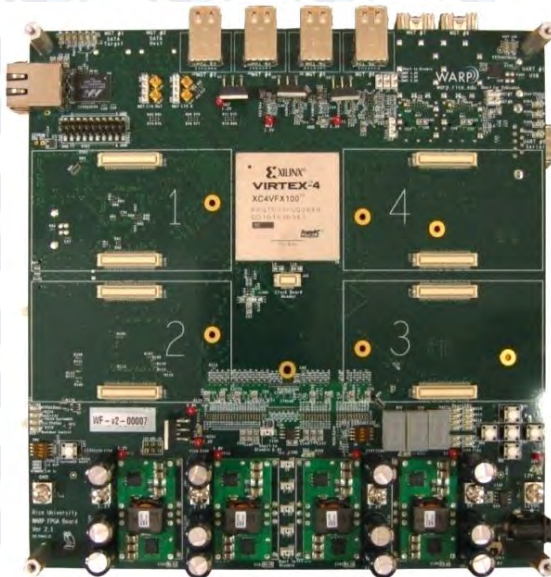
Dalam proses pengiriman dan penerimaan sinyal informasi, pengolahan digital dilakukan dengan menggunakan dua komponen utama WARP yakni FPGA board dan radio board. Pada sistem

komunikasi WARP, proses implementasi dilakukan pada modul WARP sebagai FPGA dan modul radio sebagai interface antara sistem komunikasi dengan pengolahan sinyal digital.

3.1.1.1 FPGA board (*Field Programmable Gate Array*)

FPGA *board* merupakan inti dari proses SDR. FPGA pada WARP merupakan prosesor utama karena blok *programmable logic* didalamnya akan saling dihubungkan untuk dapat membentuk unit fungsional yang kompleks.

FPGA menyediakan kekuatan pemrosesan yang besar, koneksi untuk perangkat lain dan board yang memungkinkan berbagai aplikasi. Board FPGA menyediakan *interface* Ethernet 10/100 untuk koneksi ke jaringan kabel standar. Koneksi ini memungkinkan komunikasi *real-time* antara node jaringan kabel yang ada dengan node jaringan nirkabel kustom yang diimplementasikan pada WARP.



Gambar 3. 6 FPGA Board WARP Versi 2.2

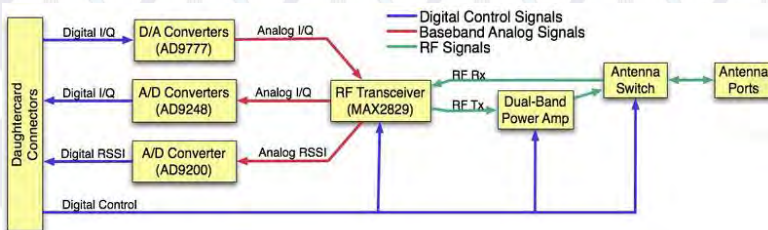
3.1.1.2 Radio board

Radio *board* merupakan *interface* dari domain digital ke domain analog. Pada proses konversi dari digital ke analog dan sebaliknya, radio *board* menggunakan A/D (Analog-to-Digital) dan D/A (Digital-to-

Analog) *converter*. Radio board juga digunakan untuk proses modulasi dan demodulasi *baseband*. Radio board pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829. *Single-chip* MAX2829 merupakan IC RF *transceiver* yang didesain khusus untuk aplikasi OFDM 802.11 WLAN yang dapat bekerja pada frekuensi RF 2.4 GHz - 2.5GHz dan 4.9 GHz dan 5.875 GHz. Bentuk fisik dari radio board ditunjukkan pada gambar 3.7 dan arsitektur dari radio board WARP ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3. 7 Radio board WARP



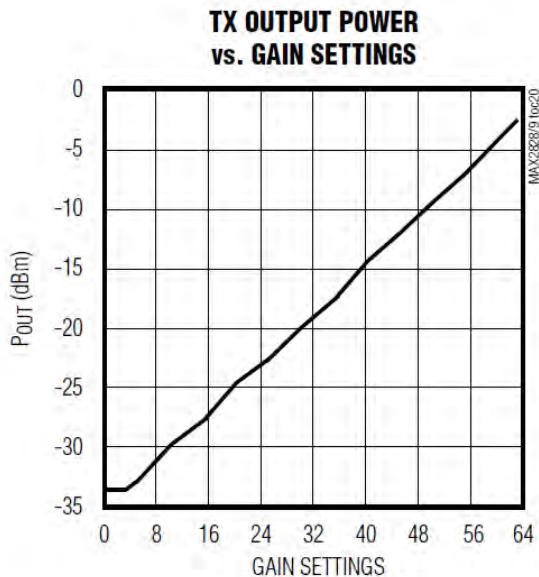
Gambar 3. 8 Arsitektur radio board

Ketika radio board bekerja menjadi transmitter, sinyal digital dari modul WARP akan diubah menjadi analog melalui AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Ketika modul berkerja sebagai *receiver*, akan terdapat dua sinyal analog yang diproses oleh WARP. Sinyal pertama adalah sinyal informasi I/Q dan kedua adalah sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

Pada radio board terdapat beberapa gain amplifier Tx dan Rx yang diatur untuk konfigurasi pengiriman sinyal. Spesifikasinya antara lain sebagai berikut :

- Tx gain diterapkan pada tiga amplifier:
Tx BB: range [0: 3] berlaku 1,5 dB/step
Tx RF: range [0: 63] berlaku 0.5 dB/step
Tx RF PA tetap dengan gain 20 dB
- Rx gain diterapkan pada dua amplifier:
Rx BB: range [0: 31] berlaku 2 dB/step
Rx RF: range [1: 3] berlaku 15 dB/step

Untuk menentukan daya pancar pada pengirim pengaturan nilai gain RF dilakukan. Pada gambar 3.9 diperlihatkan grafik konversi untuk range gain RF terhadap nilai daya pancar dalam dBm.



Gambar 3. 9 TX Output power vs Gain Setting pada MAX2829

Berdasarkan referensi dari data sheet MAX2829 [9], karakteristik RF gain memiliki kaitan sebagai berikut :

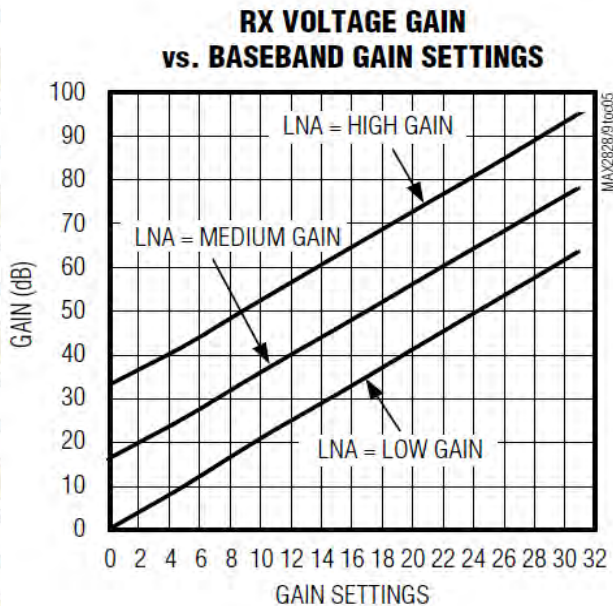
- Nilai gain linear pada range 4 hingga 63.
- Daya output dinyatakan dalam persamaan terhadap gain setting sebagai berikut :

$$P_{out} = 0.5252x - 36.1017 \quad (3.1)$$

Dengan x adalah gain setting dengan range 4 hingga 63.

Sedangkan pada *receiver baseband gain*, terdapat 32 level pengaturan [0:31] berdasarkan referensi pada data sheet MAX2829 [9] grafik level pengaturan baseband terhadap nilai gain penerima ditunjukkan pada gambar 3.10.

Untuk pengaturan RF gain di penerima, node WARP memiliki tiga level LNA, masing – masing sebagai *Low Gain*, *Medium Gain* dan *High Gain*. Besar penguatan LNA sekitar 0 dB untuk *low gain*, 15 dB untuk *medium gain* dan 30 dB untuk *high gain*. Besarnya penguatan baik RF Gain maupun BB gain pada Rx mengacu pada gambar 3.10 yang memperlihatkan peningkatan gain untuk setiap perubahan level LNA dan juga Baseband Gain.



Gambar 3. 10 Gain RX baseband pada MAX2829

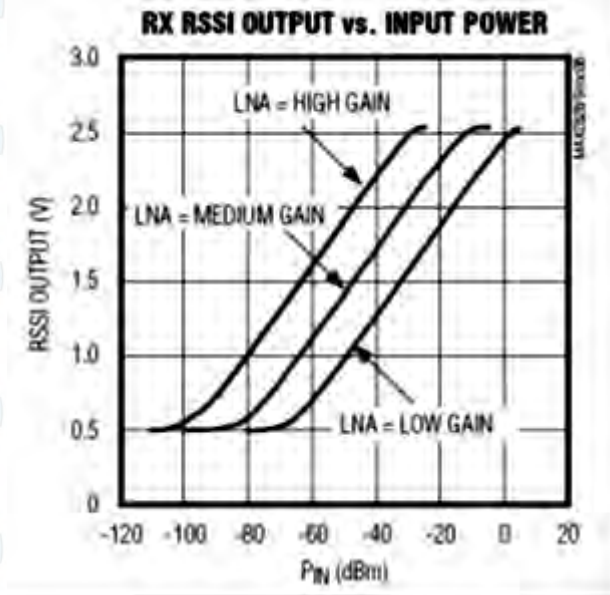
Nilai RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) memberikan informasi pada penerima tentang level tegangan terima untuk sampel tertentu. Hal ini bisa diketahui berdasarkan informasi pada datasheet MAX2829 [9]. Sinyal analog RSSI pertama dihasilkan oleh MAX2829 akan memiliki karakteristik seperti ditunjukkan pada gambar 3.11.

RSSI juga digunakan untuk mendapatkan nilai daya terima. Pembacaan RSSI menggunakan 10-bit linear dalam dB yang dapat dikonversi menjadi daya terima dalam dBm. RSSI diukur setelah RF amplifier, sehingga konversi nilai RSSI menjadi daya terima bergantung pada pengaturan Gain RX_RF [10].

- Untuk High Gain (RX_RF = 3), nilai RSSI = 0 adalah -100 dBm dan RSSI = 1023 adalah -30 dBm.
- Untuk High Gain (RX_RF = 2), nilai RSSI = 0 adalah -85 dBm dan RSSI = 1023 adalah -15 dBm.
- Untuk High Gain (RX_RF = 1), nilai RSSI = 0 adalah -70 dBm dan RSSI = 1023 adalah 0 dBm.

Dalam hal ini, persamaan konversi dari RSSI kedalam nilai dBm daya terima yang digunakan adalah :

$$Pr(dBm) = \left(\frac{70}{1023} \right) * RSSI - 70 - (RxGain_{RF} - 1) \times 15 \quad (3.2)$$



Gambar 3. 11 Perbandingan tegangan terima RSSI dengan daya terima pada MAX2829

3.1.2 Antenna

Pada sistem komunikasi WARP antenna yang digunakan adalah antenna radio omni L-Com model RE07U dengan frekuensi kerja 2,4 GHz. Spesifikasi antenna ini ditunjukkan pada tabel berikut [11] :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Antena omni L-Com model RE07U

Frequency	2360-2500 MHz
Gain	7 dBi
Impedance	50 Ohm
VSWR	< 1.8:1 avg.
Maximum Input Power	10 W

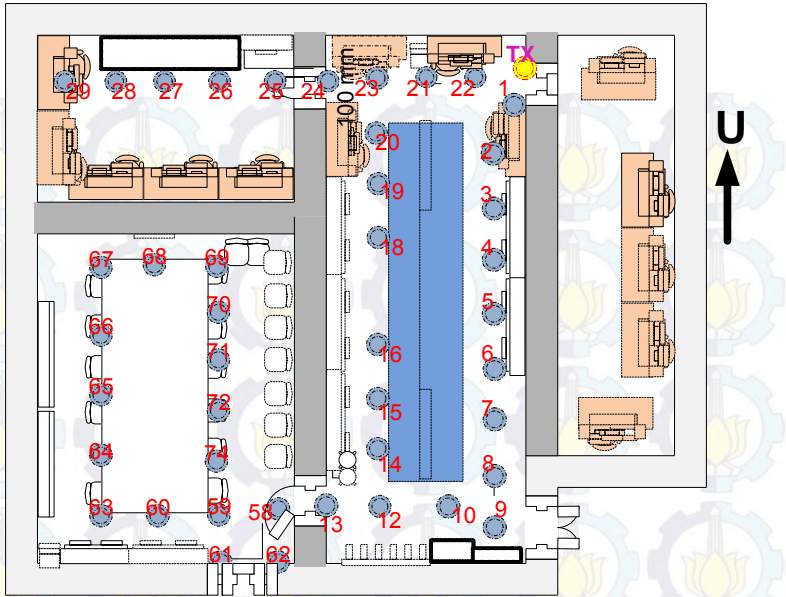


Gambar 3. 12 Antenna 2.4 GHz

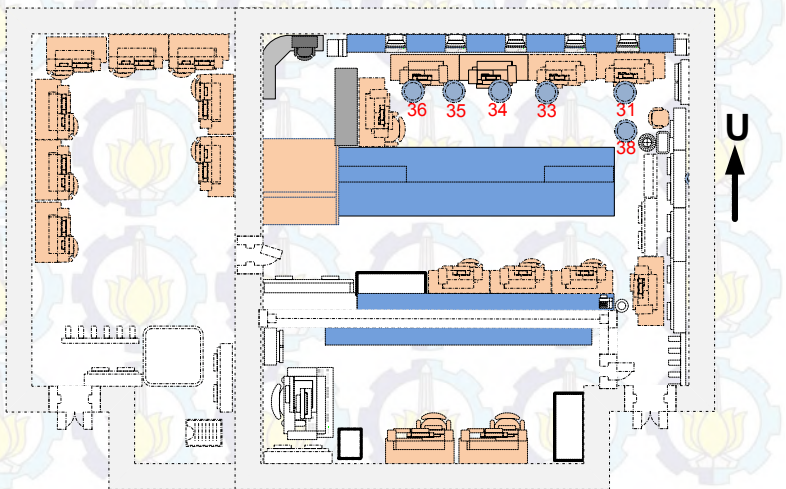
3.1.3 Lokasi Pengukuran

Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengukuran dan analisa agar mendapatkan suatu model statistik redaman dan *shadowing* pada ruangan Laboratorium teknik Multimedia jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Ruangan yang diuji adalah Lab Telekomunikasi Multimedia B304, Ruang seminar B305, serta Lab Antena dan Propagasi B306a.

Masing-masing ruangan memiliki kondisian ukuran yang berbeda. Namun, secara umum ruangan mewakili bentuk perkantoran dengan peralatan seperti *Personal Computer*, meja, kursi, almari, dan lain-lain.



Gambar 3. 13 Denah Pengukuran B305 dan B306



Gambar 3. 14 Denah Pengukuran B304 dengan Tx berada di B306

3.2 Skenario Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan Modul WARP yang terintegrasi dengan *software* Matlab 2012a. Pada awal pengukuran perlu dilakukan konfigurasi terhadap Node 1 dan Node 2 WARP yang akan digunakan sebagai sistem pengirim dan penerima. Konfigurasi sambungan dapat dilakukan sebagai berikut :

- Copy folder „WARPLab7“ dan folder „tcp_udp_ip“ ke „C:\“.
- File tersebut dapat didapat di web WARP : warpproject.org
- Buka aplikasi „MATLAB“.
- Tambahkan folder „WARPLab7“ dan folder „tcp_udp_ip“ to kedalam matlab path.
 - Klik menu „File“ → click „Set Path“.
 - Klik „Add folder“
 - pilih folder „M_Code_Reference“ dari subfolder WARPLab7 dan folder „tcp_udp_ip“

Selanjutnya sambungkan port antenna pada *radio board* WARP dengan antenna omni 2.4 GHz terlebih dahulu untuk mencegah terjadinya kerusakan komponen pada saat *power supply* tersambung. Kemudian pasang CF card pada modul dan pasang kabel UTP dari port RJ45 Modul WARP ke switch Gigabit Ethernet. Lakukan hal yang sama pada WARP node 2. Sambungkan juga PC/Laptop ke switch gigabit ethernet melalui kabel UTP. Setelah semua tersambung kemudian nyalakan power pada kedua Node WARP.

Set IP PC/Laptop untuk adapter ethernet dengan konfigurasi :

- IP Address: 10.0.0.100
- Subnet: 255.0.0.0

Sebelum masuk ke *software* Matlab, lakukan konfigurasi pada Address Resolution Protocol (ARP) di Command Prompt window. Jalankan „Command Prompt“ sebagai „Administrator“ dan ketikkan perintah :

arp -a → untuk melihat isi ARP

arp -s 10.0.0.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff → untuk menambahkan ARP

Lakukan pengecekan sambungan antara node 1 dan node 2 dengan cara :

ping 10.0.0.1 → IP WARP Node 1

ping 10.0.0.2 → IP WARP Node 2

Cek koneksi antara PC dan Node WARP dengan mengetikkan perintah berikut pada *command window* Matlab.

wl_setup → klik „Enter“ seterusnya

wl_initNodes(2) → klik „Enter“

Apabila sambungan telah berhasil, maka akan muncul tampilan seperti gambar 3.15 pada *command window* di Matlab.

```
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
| ID | WLVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
```

Gambar 3. 15 Tampilan pada command window Matlab apabila sambungan antar Node WARP dan Matlab pada PC/Laptop berhasil

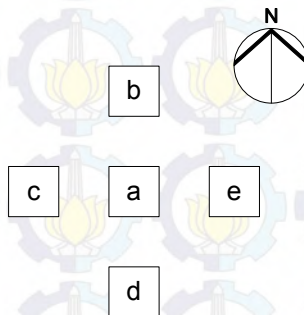
Pengukuran dilakukan dengan menjalankan program pada Matlab untuk membangkitkan sinyal yang kemudian dikirim melewati kabel UTP dan kemudian sinyal informasi masuk kedalam modul FPGA. Sinyal yang dibangkitkan merupakan simbol singkat sebagai preamble ke sinusoidal sederhana. Dari modul FPGA sinyal akan di proses kembali dan dipancarkan melalui *radio board* pada Node WARP pengirim, yakni Node 1. Kemudian sinyal diterima oleh WARP Node 2 sebagai penerima. Setelah sinyal diterima, LNA (*Low Noise Amplifier*) pada radio board Node 2 akan menyimpan nilai RSSI. Nilai RSI ini dipakai untuk mengetahui level daya penerima (Pr) dengan konversi seperti yang telah dijabarkan pada poin 3.1.1.

Untuk memulai pengukuran, diperlukan penentuan beberapa nilai parameter yang diperlukan dalam pengiriman sinyal. Hal ini dijabarkan pada tabel 3.2. Parameter ini digunakan pada program yang akan dijalankan pada Matlab untuk mengirimkan sinyal.

Tabel 3. 2 Penentuan parameter pengukuran

Parameter	Nilai
Channel	3
Frekuensi	2422
TxGainBB	3
TxGainRF	60
RxGainBB	15
RxGainRF	1
D	1 s/d 18 meter
ht = hr	1,2 meter
Pt	-4.5897

Hasil pengukuran awal berupa nilai RSSI yang kemudian dikonversi menjadi nilai daya terima dalam dBm menggunakan persamaan (3.2). Data ini yang kemudian akan diolah selanjutnya untuk mendapatkan nilai *pathloss*, *pathloss* eksponen, dan juga *shadowing* pada kondisi lingkungan dalam ruang. Dalam satu titik pengambilan data level daya terima terdapat 5 macam posisi penerima yang dirubah yakni a, b, c, d dan e seperti pada gambar 3.16. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan efek multipath yang terjadi pada saat pengambilan data.



Gambar 3. 16 Pola Perubahan Posisi Antena Penerima

3.3 Data Pengukuran

Pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa nilai daya terima dalam dBm merupakan hasil konversi dari nilai level RSSI yang diterima dan tersimpan pada LNA (*Low Noise Amplifier*). Dari data hasil konversi yang diambil sebanyak lima titik sampel dalam satu jarak, kelima titik sampel ini dirata-rata untuk mendapatkan nilai daya terima pada satu titik pengukuran. Hasil ini yang kemudian akan dianalisa dan dihitung untuk mendapatkan karakteristik redaman dan shadowing dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz untuk studi kasus di Lab Telekomunikasi Multimedia B304 serta Lab. Antena dan Propagasi B306. Hasil daya terima berdistribusi acak untuk tiap titik yang berbeda dan tidak menentu dikarenakan adanya halangan dan lingkungan sekitar kanal propagasi. Terdapat 49 titik sampel dengan batas penerimaan sinyal ≤ -65 dBm yang diperlihatkan pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Hasil Pengukuran

Node	a	b	c	d	e	Rata-rata	jarak
1	-23,6103	-16,9702	-22,8267	-17,6630	-21,8523	-20,5845	1,00
22	-20,5567	-20,1041	-21,0697	-18,6406	-18,3773	-19,7497	1,12
2	-25,8464	-29,5972	-27,0451	-24,0327	-25,1118	-26,3266	2,06
21	-26,8383	-33,0546	-25,3534	-25,3161	-25,3161	-27,1757	2,30
3	-29,3411	-27,5686	-27,1601	-27,8817	-28,7337	-28,1371	3,16
23	-46,9383	-45,3517	-43,3739	-46,1843	-37,1959	-43,8088	3,54
4	-28,8466	-32,2678	-29,9450	-31,3464	-32,9037	-31,0619	4,12
20	-37,6997	-36,2109	-32,0427	-31,8650	-40,6099	-35,6857	4,27
19	-45,1891	-39,0941	-44,7456	-42,5621	-44,3836	-43,1949	4,72
24	-48,7626	-47,3801	-36,8931	-51,3743	-45,5000	-45,9820	5,02
5	-30,1868	-30,3435	-32,9165	-36,8121	-30,5484	-32,1615	5,10
18	-44,9156	-44,2476	-42,9620	-42,9620	-41,4922	-43,3159	5,32
25	-48,6799	-53,1748	-45,6205	-45,2030	-47,9567	-48,1270	6,02
6	-34,3952	-30,6043	-33,1127	-35,2946	-34,4657	-33,5745	6,08
16	-51,3768	-53,5380	-45,3375	-50,4400	-48,6095	-49,8604	6,80
26	-54,6667	-52,8415	-47,5759	-53,0946	-53,0946	-52,2547	7,02
7	-34,8819	-34,7050	-41,4765	-40,8476	-34,2930	-37,2408	7,07
69	-53,9373	-54,3599	-53,3627	-57,0885	-65,2952	-56,8087	7,38

15	-47,8807	-57,1461	-51,0099	-54,7128	-41,2489	-50,3997	7,63
70	-51,5369	-56,2997	-52,5988	-54,4614	-53,5641	-53,6922	7,91
27	-57,2795	-52,1238	-47,6972	-57,3250	-53,7490	-53,6349	8,02
8	-38,3497	-34,6963	-37,3159	-44,8227	-35,6294	-38,1628	8,06
14	-43,6917	-46,1648	-43,7951	-46,4767	-49,7543	-45,9765	8,50
71	-58,9226	-63,3574	-64,8414	-61,0987	-56,4600	-60,9360	8,51
68	-56,6663	-55,8199	-59,2084	-59,7411	-58,1043	-57,9080	8,73
10	-35,2789	-38,5420	-34,6826	-35,0257	-34,7910	-35,6640	8,93
28	-61,2291	-59,5828	-50,2089	-54,3887	-57,9655	-56,6750	9,01
9	-41,1480	-34,8047	-33,2604	-46,2384	-41,8710	-39,4645	9,06
72	-60,5349	-57,9827	-59,5141	-63,3477	-61,6408	-60,6040	9,19
12	-52,9450	-44,1394	-41,8193	-46,9308	-49,5185	-47,0706	9,39
67	-54,7835	-57,8848	-60,3447	-59,2217	-62,5753	-58,9620	9,66
29	-57,1693	-53,5968	-49,6291	-62,2614	-49,9620	-54,5237	9,71
13	-57,1877	-50,4817	-49,6101	-52,8525	-51,8150	-52,3894	9,86
73	-65,7946	-52,5204	-57,6906	-57,6906	-60,4214	-58,8235	9,92
66	-66,2106	-65,6049	-61,0416	-65,5204	-57,6076	-63,1970	10,18
58	-55,8494	-54,6943	-55,9622	-60,0245	-57,7490	-56,8559	10,40
65	-64,5546	-55,9434	-54,0194	-55,7922	-54,0578	-56,8735	10,96
59	-65,9744	-64,0468	-61,4767	-59,4083	-65,8833	-63,3579	11,01
62	-62,4476	-59,2568	-59,9636	-53,6310	-55,4049	-58,1408	11,07
38	-61,9725	-64,5657	-66,1441	-64,9322	-65,7427	-64,6714	11,18
61	-56,1213	-58,3831	-55,9993	-57,7551	-59,0269	-57,4571	11,64
64	-59,6059	-63,1572	-58,4318	-65,5907	-66,0553	-62,5682	11,72
60	-62,7093	-58,3460	-64,3140	-58,4720	-65,7707	-61,9224	11,85
31	-62,0352	-63,2145	-63,2145	-64,6799	-64,9578	-63,6204	12,04
63	-62,8152	-65,6262	-57,9530	-58,2042	-59,0325	-60,7262	12,75
33	-65,7632	-64,9065	-63,9910	-62,6504	-64,6120	-64,3846	14,04
34	-60,3593	-60,2289	-63,5474	-64,2466	-65,2099	-62,7184	15,03
35	-63,2623	-60,6159	-61,1559	-62,1988	-60,5496	-61,5565	16,03
36	-61,2620	-63,3247	-65,9275	-63,9233	-65,3555	-63,9586	17,03

3.4 Karakteristik Redaman dan *Path loss* Eksponen

Untuk mendapatkan karakteristik redaman, mula-mula daya pancar akan dikurangi dengan masing-masing daya terima yang diperoleh dari hasil pengukuran. Kemudian dengan menggunakan persamaan regresi linear didapatkan garis linear yang menampilkan perubahan karakteristik redaman yang terjadi disertai sebaran data yang didapatkan.

Dari data hasil pengukuran berupa daya terima dan perhitungan *pathloss* hasil pengukuran dengan pengurangan daya terima terhadap daya pancar, selanjutnya perhitungan *Path loss* eksponen dilakukan. *Path loss* eksponen merupakan indikasi yang memperlihatkan seberapa cepat peningkatan *path loss* terhadap jarak pada lingkungan dalam ruang yang diuji. Jarak harus dirubah menjadi skala logaritmik untuk menyesuaikan dengan persamaan (2.5)

3.4.1 Regresi Linear

Untuk mendapatkan nilai *Path loss* eksponen, suatu data pengukuran akan di kalkulasi menggunakan regresi linear. Persamaan umum dari regresi linier sederhana adalah:

$$Y = a + bX \quad (3.3)$$

dengan nilai a dan b yang diperoleh dari persamaan :

$$a = \frac{(\sum Y1)(\sum X1^2) - (\sum X1)(\sum X1 Y1)}{n \sum X1^2 - (\sum X1)^2} \quad (3.4)$$
$$b = \frac{n \sum X1 Y1 - (\sum X1)(\sum Y1)}{n \sum X1^2 - (\sum X1)^2}$$

Dimana: Y : variabel dependen yang diprediksikan

a : konstanta

b : koefisien regresi X terhadap Y

X: variabel independen yang mempunyai nilai tertentu.

Persamaan (3.3) di indikasikan sebagai persamaan (2.5) dengan Y sebagai *pathloss* hasil pengukuran $\overline{PL}(dB)$, a sebagai nilai *pathloss* pada jarak referensi $\overline{PL}(d0)$, b sebagai $10n$, dan X sebagai $\log_{10} \left(\frac{d}{d0} \right)$. Sehingga, nilai *pathloss* eksponen adalah b/10.

3.4.2 Karakteristik Shadowing

Setelah mendapatkan nilai *pathloss* eksponen, proses pengolahan data selanjutnya adalah mendapatkan nilai *shadowing*. Karakteristik *shadowing* ini dipergunakan untuk proses selanjutnya yakni menentukan model distribusi yang terjadi pada propagasi dalam ruang serta untuk mengetahui cakupan wilayah yang dapat dijangkau pada sistem komunikasi yang ada.

Adapun proses untuk mendapatkan nilai karakteristik *shadowing* adalah :

- Mendapatkan nilai *pathloss* eksponen dari hasil pengukuran yang sebelumnya telah didapatkan pada pengolahan data sub bab 3.3.
- Menghitung *pathloss* perhitungan empiris dengan memasukkan variabel *pathloss* eksponen menggunakan persamaan 3.3.
- Mencari nilai *shadowing* yakni dengan ketentuan *pathloss* hasil pengukuran dikurangi *pathloss* hasil perhitungan.
- Menentukan nilai rata-rata *shadowing* dan mendapatkan nilai standar deviasinya dengan perintah standar deviasi yang ada pada matlab.

3.4.3 Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test)

Kolmogorov-Smirnov Test digunakan untuk mengetahui model distribusi yang terjadi pada suatu data yang didapatkan, apakah terdistribusi normal atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan diagram cumulative empiris dengan teori CDF (*Cumulative Distribution Function*).

Proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut [12] :

- Mengatur nilai *shadowing* dari nilai terendah ke nilai tertinggi.
- Menentukan fungsi distribusi yang diuji $F^0[x_{(i)}]$ yang merupakan bentuk dari cdf empiris, selain itu juga menentukan fungsi $F_x[x_{(i)}]$ yang merupakan bentuk dari cdf teori berdasarkan nilai mean m dan nilai standar deviasi yang telah didapatkan sebelumnya pada sub bab 3.4 poin d.
- Membandingkan selisih yang diperoleh dengan nilai $c_{n,a}$ pada tabel 2.1
- Menyimpulkan hipotesa apabila nilai D_2 lebih dari nilai $c_{n,a}$ dan menyimpan hipotesa apabila nilai D_2 kurang dari nilai $c_{n,a}$.

BAB IV

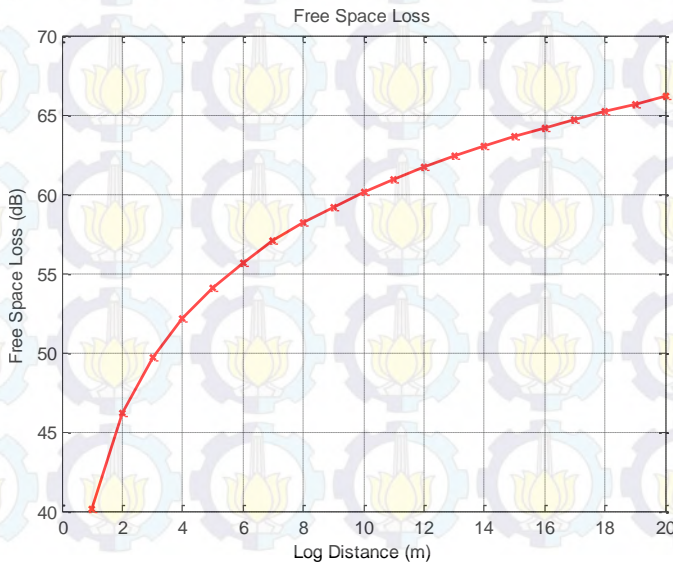
ANALISA HASIL

Pada bab ini akan dilakukan analisa dari hasil pengolahan data terhadap hasil pengukuran yang dilakukan sehingga didapatkan karakteristik redaman dan *shadowing* pada propagasi dalam ruang untuk kanal radio 2,4 GHz Lab Telekomunikasi Multimedia. Hasil perhitungan link budget juga akan ditunjukkan pada bab ini untuk mengetahui batasan nilai secara teoritis sehingga dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran.

4.1 Link Budget

Pada sub bab 2.5 telah dijelaskan mengenai perhitungan *link budget*. Yang menjadi parameter pertimbangan dalam link budget antara lain adalah frekuensi, besar daya output, panjang jalur propagasi yang digunakan dan juga sensitivitas penerima (*Rx threshold*).

Perhitungan pertama adalah *free space loss* menggunakan persamaan (2.4). Dengan range jalur propagasi adalah antara 1 – 18 meter didapatkan hasil level pathloss seperti pada gambar 4.1.

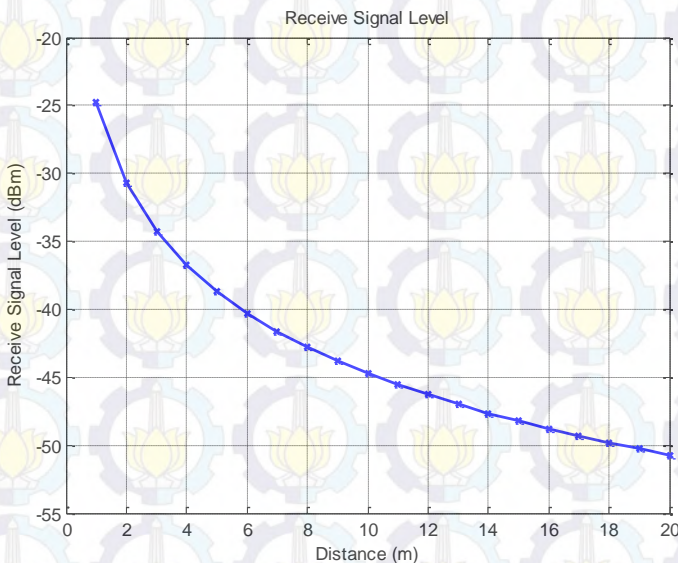


Gambar 4. 1 Grafik Perhitungan *Free Space Loss*

Grafik pada gambar 4.1 memperlihatkan besarnya penurunan level daya yang terjadi pada link komunikasi nirkabel dengan kondisi *free space* secara teoritis tanpa adanya halangan. Hasilnya menunjukkan nilai pathloss yang semakin besar seiring dengan bertambahnya jarak. Dengan nilai awal *free space* pada jarak 1 meter, pathloss yang dihasilkan adalah 40.13 dB dan 65.23 dB pada jarak 18 meter.

Selanjutnya, perhitungan EIRP yang merupakan total level daya isotropik yang dikeluarkan oleh pemancar secara teoritis dengan menggunakan persamaan (2.7) menghasilkan nilai sebesar 36.91 dBm. Nilai ini merupakan nilai total daya yang dipancarkan dengan penambahan nilai gain pada pemancar dan gain pada antenna.

Dari hasil perhitungan *free space loss* dan EIRP maka dengan persamaan (2.8) akan didapatkan nilai RSL (*Receive Signal Level*) yang terlihat pada grafik gambar 4.2. Nilai RSL merupakan pengurangan dari nilai EIRP dalam dBm dengan nilai *free space loss* yang ditambahkan dengan total gain pada antenna penerima.



Gambar 4. 2 Grafik RSL (*Receive Signal Level*)

Pada grafik gambar 4.2 terlihat bahwa nilai level daya terima secara teoritis mengalami penurunan secara logaritmik dengan semakin bertambahnya jarak. Karena nilai daya pancar tetap dan hanya nilai *free space loss* yang berubah maka dapat diketahui bahwa nilai pathloss yang berubah seiring bertambahnya jarak sangat berperan terhadap penurunan level daya terima. Pada jarak 1 meter, nilai RSL adalah sebesar -7.9815 dBm, sedangkan pada jarak 18 meter nilainya sebesar -65.7889 dBm.

Hasil perhitungan *link budget* secara mendetail diperlihatkan pada tabel 4.1 dengan ketentuan frekuensi 2422 MHz, tinggi antenna Tx = Rx = 1.2 meter, jarak penerima dan pemancar bervariasi dari 1 meter sampai dengan 18 meter, daya pancar Tx = -4.5897 dBm, dan Gain antenna 7 dBi.

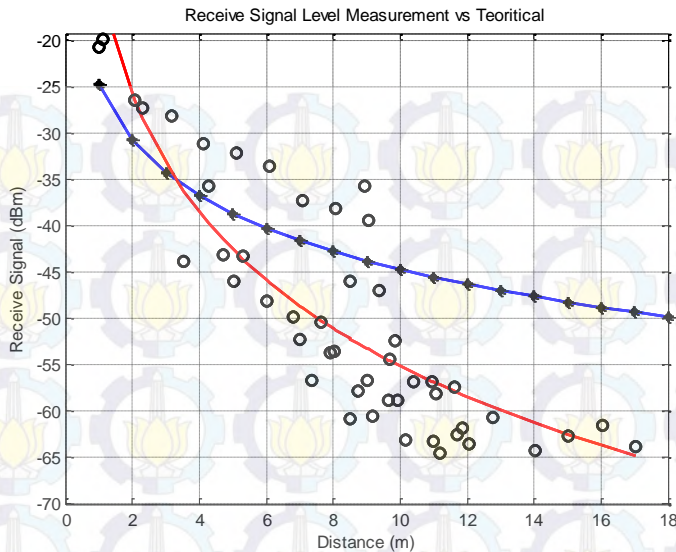
Tabel 4. 1 Link Budget Komunikasi Dalam Ruang
Pada Kanal Radio 2,4 GHz

Parameter	Simbol	Nilai
Free Space Loss	FSL	65.23 dB
Total Gain Tx	Gtx	27 dB
EIRP	EIRP	22.4103 dBm
Total Gain Rx	Grx	7 dB
RSL	RSL	-40.7356 dBm
Rx Threshold Level	THrx	≤ -65 dBm

4.2 Analisa Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran yang berupa nilai level daya kemudian diolah untuk memperoleh karakteristik redaman dan *shadowing*. Nilai redaman lintasan yang terjadi dapat diperoleh dengan mengurangi nilai daya pancar dengan daya terima pada data pengukuran. Hasilnya, nilai pathloss akan berbentuk positif. Kemudian, nilai pathloss di-regresi linear untuk meminimalisasi adanya MSE (*Mean Squared Error*). Selain itu, regresi linear ini juga bertujuan untuk mendapatkan nilai pathloss eksponen.

Pada gambar 4.3 ditampilkan nilai sebaran data daya terima dengan jarak pada masing-masing titik pengambilan data yang telah di rata-rata sebelumnya. Untuk memperlihatkan penurunan daya terima, data pengukuran dibandingkan dengan grafik RSL secara teori yang telah diperlihatkan pada gambar 4.2.



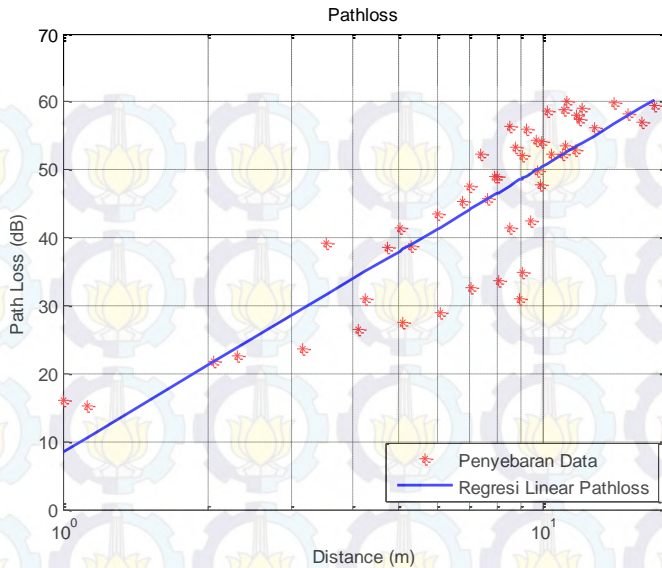
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai RSL Secara Teori menggunakan *Free Space Loss* vs. Pengukuran

Grafik diatas menunjukkan pola penurunan level daya terima pada pengukuran tidak sesuai dengan pola penurunan level daya secara teori. Nilai level daya terima pada pengukuran tidak menentu perubahannya seperti pada teori *free space loss*, hal ini dikarenakan adanya efek multipath dan penghalang yang ada pada kanal radio disepanjang jalur propagasi. Pada saat jarak 1 meter dengan nilai RSL teori -24.715 dBm level daya terima saat pengukuran sebesar -20.5845 dBm. Sedangkan pada saat jarak 17.03 meter level daya terima pengukuran menunjukkan nilai -63.9586 dBm dan -50.7356 dBm secara teori.

4.2.1 Karakteristik Redaman

Karakteristik redaman diperlihatkan pada gambar 4.4 dimana garis berwarna biru menunjukkan pola peningkatan rugi lintasan secara linier disertai dengan sebaran datanya. Pola penyebaran data pathloss terjadi terhadap fungsi logaritmik jarak.

Gambar 4.4 garis linear berwarna biru memperlihatkan keseluruhan pathloss dari jarak 1 meter s/d 17.03 meter serta penyebaran datanya dengan tanda bintang berwarna merah.



Cambar 4. 4 Penyebaran *Pathloss* terhadap Fungsi Jarak

Dari regresi linear ini akan didapatkan nilai pathloss eksponen. Hasil pathloss eksponen ini yang kemudian akan digunakan untuk mendapatkan presentase coverage area. Hasil pathloss eksponen yang didapatkan juga akan diklarifikasi dengan pathloss eksponen pada referensi [7] untuk mengetahui kategori lingkungannya.

Untuk mengetahui nilai pathloss eksponen yang dihasilkan dari data pengukuran digunakan regresi linear yang dimodelkan dengan persamaan pathloss secara empiris.

$$Y = a + b X$$

$$\overline{PL}(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10 n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)$$

$$PL = a + b X$$

Dengan variabel a sebagai nilai awal pathloss yang merupakan *free-space loss* pada jarak referensi, yakni 1 meter, b adalah nilai pathloss eksponen dikali 10, dan X adalah nilai logaritmik jarak penerima yang dibagi dengan jarak referensi. Fungsi regresi linear yang ada pada matlab digunakan dan menghasilkan nilai b untuk mendapatkan nilai pathloss eksponen.

Dengan jarak 1 meter s/d 17.03 meter dan menghasilkan pathloss eksponen (n) sebesar 4.2. Bila dibandingkan dengan hasil pada referensi [1][7] pathloss eksponen yang didapatkan masuk pada kriteria bangunan perkantoran.

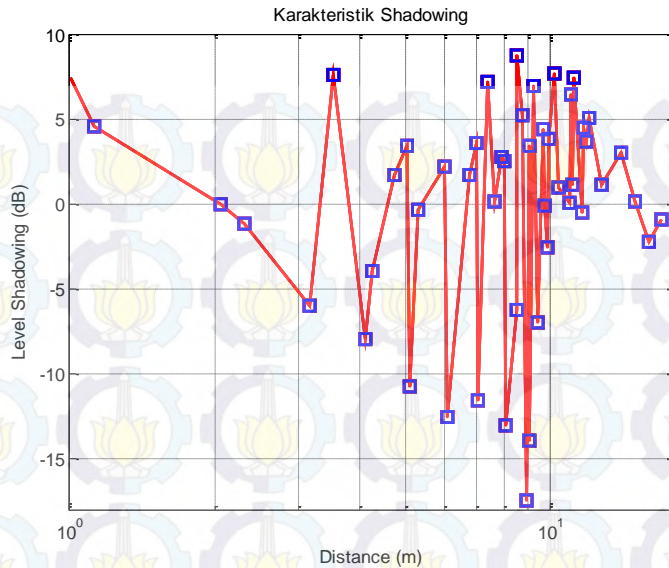
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan pathloss fungsi jarak dalam skala logaritmik dengan kondisi lingkungan propagasi NLOS dalam ruang. Simbol bintang menunjukkan penyebaran nilai pathloss terhadap jarak, sedangkan garis berwarna merah laju peningkatan nilai pathloss secara linear dari hasil penyebaran data terhadap jarak lintasan antara pemancar dan penerima. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa nilai pathloss semakin besar seiring bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima. Hal ini sesuai dengan yang terlihat pada penambahan pathloss secara teori menggunakan persamaan *free space loss* sebelumnya. Namun, karena adanya hambatan dan pantulan disepanjang jalur propagasi antara pemancar dan penerima, penyebaran data relatif tidak sama dengan hasil pada teori *free space loss*.

4.2.2 Karakteristik Shadowing

Parameter penting lain yang mempengaruhi cakupan wilayah suatu sistem komunikasi nirkabel adalah adanya *shadowing*. Akibat adanya *shadowing* beberapa area tidak dapat menerima sinyal karena levelnya berada dibawah batas level sinyal terima. Untuk itu, pemodelan karakteristik *shadowing* secara statistik sangat diperlukan.

Untuk mendapatkan karakteristik *shadowing* yang terjadi pada kanal radio, nilai *pathloss* dari data hasil pengukuran yang telah dihasilkan sebelumnya dikurangi dengan nilai *pathloss* hasil perhitungan menggunakan persamaan Empiris yakni persamaan (2.6) dengan memasukkan nilai pathloss eksponen.

Gambar 4.5 menampilkan nilai acak *shadowing* dari hasil pengurangan antara *pathloss* pengukuran dan perhitungan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa karakteristik *shadowing* pada Lab Telekomunikasi Multimedia dan Lab Antena sangat tinggi dan tidak menentu. Hal ini dikarenakan adanya halangan yang menghambat pancaran sinyal sepanjang jalur propagasi dan menahan sinyal tidak sampai pada penerima. Pengolahan data karakteristik *shadowing* menghasilkan nilai standar deviasi (σ) sebesar 6.37 dB yang memperlihatkan nilai selisih acak *shadowing* terhadap nilai rata-ratanya yang mendekati nol yakni 3.117×10^{-14} dB.

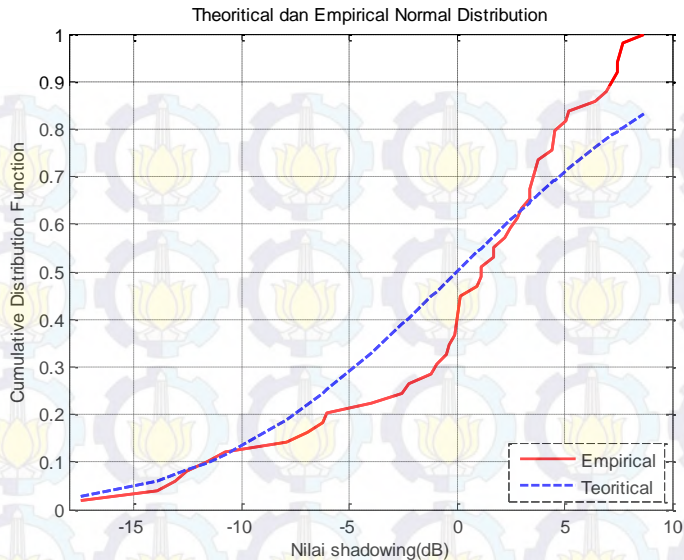


Gambar 4. 5 Karakteristik *Shadowing* Dalam Ruang Lab. Teknik Telekomunikasi Multimedia

4.2.3 Kolmogorov-Smirnov Test

Dari karakteristik shadowing yang dihasilkan, distribusi karakteristik dicari menggunakan Kolmogorov-Smirnov Test. K-S Test menggunakan selisih nilai *cumulative shadowing* pada hasil pengukuran dengan nilai hasil perhitungan teori *cumulative distribution function* (D_2). Nilai selisih yang dihasilkan kemudian diuji terhadap nilai $c_{n,\alpha}$ pada level signifikan sesuai dengan tabel (2.3) K-S Test. Hipotesa akan diterima apabila nilai $D_2 < c_{n,\alpha}$. Hasil pengolahan data distribusi secara teori dan empiris dipelihatkan pada gambar 4.6.

Pada gambar 4.6 kurva berwarna merah menunjukkan nilai distribusi secara teoritis dengan memasukkan nilai rata-rata shadowing dan standar deviasinya. Sedangkan kurva berwarna biru menunjukkan fungsi distribusi kumulatif berdasarkan pada hasil pengukuran.



Gambar 4. 6 Grafik *Cumulative Distribution Function* Secara Empiris dan Teori Terhadap Karakteristik *Shadowing*

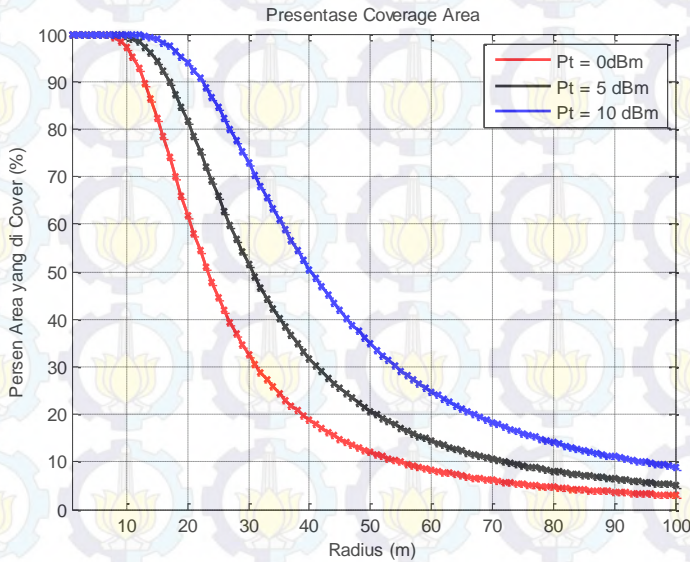
Jumlah sampel yang di uji adalah sebanyak 49 sampel sehingga dengan α sebesar 0.05 nilai $c_{n,\alpha}$ yang sesuai dengan tabel (2.3) K-S Test adalah sebesar 0.19. Sedangkan nilai D_2 yang dihasilkan selisih nilai cdf secara teoritis dan empiris adalah sebesar 0.176. Dari data ini dapat diketahui bahwa nilai D_2 lebih kecil dari $c_{n,\alpha}$ sehingga hipotesa dapat diterima bahwa karakteristik *shadowing* pada lingkungan propagasi dalam ruang terdistribusi normal.

4.2.4 Presentase Coverage Area

Akibat adanya *shadowing* dan redaman yang terjadi di sepanjang jalur propagasi, kemampuan sistem untuk mencakup area menurun. Dari data karakteristik redaman dan shadowing yang telah dihasilkan, prediksi presentase cakupan wilayah pada suatu sistem komunikasi nirkabel dapat diperoleh.

Jarak referensi d_0 pada grafik ditentukan jarak awal 1 meter dan nilai $PL(d_0)$ adalah nilai pathloss pada jarak referensi dari antenna pemancar ke antenna penerima yang perhitungannya menggunakan persamaan *free space loss*. Kemudian nilai pathloss ini akan dikalkulasi

dengan nilai ambang batas penerima, daya pancar, standar deviasi, dan pathloss eksponen sebagaimana yang terdapat pada persamaan (2.13) dan persamaan (2.14) untuk mendapatkan nilai variabel a dan b sebagai fungsi presentase *coverage area*. Dengan menggunakan persamaan (2.16) maka akan diperoleh presentase *coverage area* yang hasilnya terlihat pada grafik gambar 4.7



Gambar 4. 7 Presentase Coverage Area

Gambar 4.7 memperlihatkan persentase area yang menerima sinyal sama/lebih besar dari batas *threshold* berdasarkan pada karakteristik *shadowing* dan redaman sinyal. Diasumsikan batas ambang penerimaan sinyal adalah -90 dBm yang merupakan sensitivitas penerima pada umumnya untuk pemancar Wifi. Pada grafik berwarna merah daya yang dipancarkan adalah sebesar 0 dBm, grafik berwarna hitam 5 dBm dan grafik berwarna biru 10 dBm. Apabila ditentukan batas 50% area yang menerima sinyal diatas -90 dBm, dengan daya pancar yang kecil yakni sebesar 0 dBm cakupan wilayah sampai pada panjang lintasan sejauh 23 meter dari antenna pemancar. Daya sebesar 5 dBm dapat mencakup wilayah sejauh 30 meter. Sedangkan penggunaan daya sebesar 30 dBm dapat menjangkau lintasan propagasi yang lebih jauh, yakni 40 meter.

Tabel 4. 2 Presentase Coveage Area Pada Propagasi Dalam Ruang
Lab. Telekomunikasi Multimedia

Daya Pancar	Presantase Coverage (%)					
	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
0 dBm	4,6 m	12,9 m	15,6 m	18 m	20,5 m	23,2 m
5 dBm	6,1 m	17 m	20,5 m	23,6 m	26,9 m	30,6 m
10 dBm	8 m	22,3 m	27 m	31,1 m	35,4 m	40,2 m

Tabel diatas menunjukkan presentase pada kondisi kanal radio dalam ruang dengan jarak lintasan tertentu antara pemancar dan penerima. Untuk mencapai jangkauan yang jauh diperlukan daya pancar yang besar. Namun, pencapaian jangkauan juga perlu memperhitungkan efek redaman yang terjadi disepanjang lintasan propagasi.

Dari keseluruhan data yang telah diperoleh, hasilnya terlihat pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai Karakteristik Redaman dan Shadowing Dalam Ruang Pada Kanal Radio 2,4 GHz
Lab Telekomunikasi Multimedia

Parameter	Data Keseluruhan
Kondisi Propagasi	Indoor NLOS
Jarak	1 – 17.03 meter
Pathloss Exponent	4.2
Standar Deviasi (σ)	6.37dB
Rata-rata Shadowing	3.1177e-14 dB
Nilai D_2	0.17
Nilai $c_{n,\alpha}$	0.19 (50 sampel)
Distribusi	Normal ($D_2 > c_{n,\alpha}$)
Coverage Area (untuk persen area > 50%)	23,2 m ; 30,6 m ; 40,2 m (Pt = 0 dBm; 5 dBm; 10 dBm)

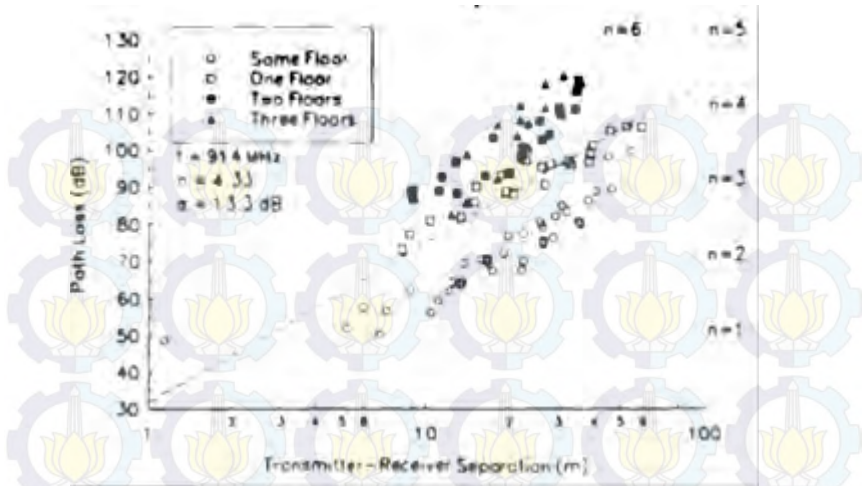
4.3 Perbandingan Data dengan Literatur

Pada referensi [13] Theodore S. Rappaport dan Scott Y. Seidel telah melakukan pengukuran dengan kondisi lingkungan *indoor* pada frekuensi 914 MHz yang hasilnya terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 *Pathloss exponent (n)* dan Standar Deviasi Untuk Beberapa Tipe Bangunan pada Frekuensi 914 MHz

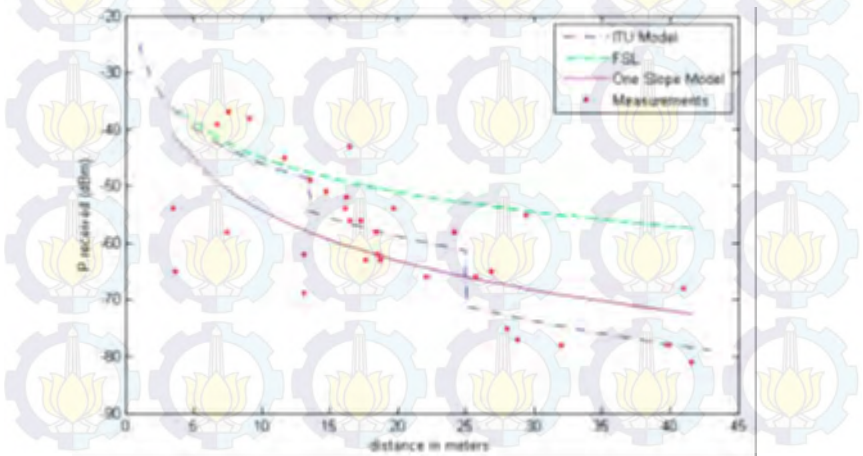
Building Type	n	σ (dB)	Number of Locations
All Buildings :			
All Locations	3.14	16.3	634
Same Floor	2.76	12.9	501
Through One Floor	4.19	5.1	73
Through Two Floors	5.04	6.5	30
Through Three Floors	5.22	6.7	30
Grocery Store	1.81	5.2	89
Retail Store	2.18	8.7	137
Office Building 1:			
Entire Building	3.54	12.8	320
Same Floor	3.27	11.2	238
West Wing 5th Floor	2.68	8.1	104
Central Wing 5th Floor	4.01	4.3	118
West Wing 4th Floor	3.18	4.4	120
Office Building 2:			
Entire Building	4.33	13.3	100
Same Floor	3.25	5.2	37

Dari data pathloss eksponen dan standar deviasi tabel 4.4 pada kondisi propagasi sepanjang satu lantai pada lingkungan *indoor*, nilai pathloss eksponen yang dihasilkan adalah 4.19 dengan standar deviasi 5.1 dB. Sedangkan pada penelitian ini, nilai pathloss eksponen yang diperoleh mendekati hasil pada penelitian referensi [13], yakni 4.2 dengan standar deviasi 6.37 dB.

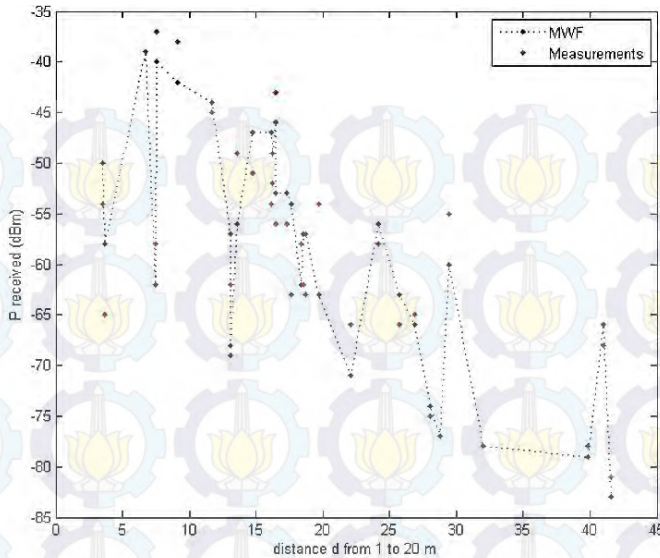


Gambar 4. 8 Penyebaran *pathloss* pada *Office Building 2*
Frekuensi 914 MHz

Pada penelitian lain [14] pengukuran dilakukan di perpustakaan umum Universitas Patras terhadap sistem operasi Wi-Fi 802.11g untuk mengetahui dampak dari *shadowing* pada karakteristik kanal nirkabel Wi-fi dengan frekuensi 2.4 GHz. Hasil penelitiannya terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Prediksi Model secara Teoritis dan Pengukuran pada
perpustakaan umum Universitas Patras

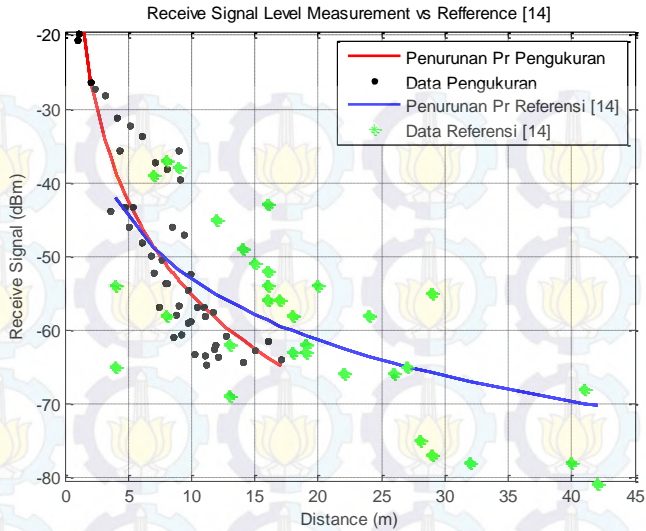


Gambar 4. 10 Rata- rata Daya Terima pada Model Prediksi Multi-Wall-Floor (MWF) vs. Pengukuran

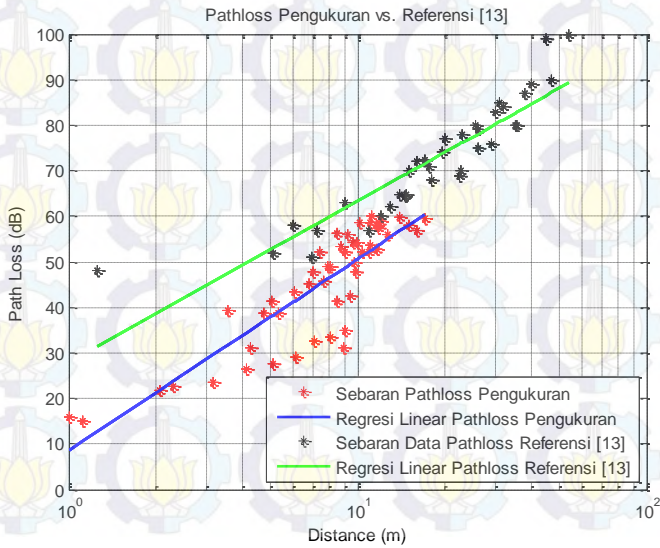
Metode yang digunakan untuk karakterisasi redaman adalah model *Free Space Loss*, ITU Model, dan *One Slope Model*. Pathloss eksponen yang dihasilkan dari Model One-Slope Model adalah 2.931 dan rata-rata standar deviasi sebesar 8 dB berdasarkan perhitungan *shadowing*.

Perbandingan sebaran data level daya terima antara hasil pengukuran yang dilakukan dan hasil pengukuran pada referensi [14] diperlihatkan pada gambar 4.11. Sedangkan perbandingan *pathloss* dari hasil pengukuran dengan *pathloss* pada referensi [13] diperlihatkan pada gambar 4.12.

Dari kedua referensi, dapat diketahui bahwa nilai *pathloss* eksponen dan standar deviasi berbeda-beda tergantung pada kondisi lingkungan yang diuji. Namun, pola karakteristik level daya terima baik pada referensi dan hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya terima menurun seiring dengan bertambahnya jarak. Sedangkan karakteristik *pathloss* yang terjadi menunjukkan nilai *pathloss* bertambah dengan bertambahnya jarak antara pengirim dan penerima.



Gambar 4. 11 Perbandingan Daya Terima pengukuran dengan Referensi [14]



Gambar 4. 12 Perbandingan Nilai Pathloss Pengukuran dengan Referensi [13]

BAB V

PENUTUP

Pada bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan dari hasil pengukuran dan analisa data, serta saran berdasarkan hasil-hasil pengukuran.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Desain sistem pengukuran komunikasi nirkabel dapat diterapkan pada WARP dan digunakan untuk mengukur daya terima komunikasi SISO dengan lingkungan propagasi NLOS dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz.
2. Pada jarak 1 s/d 17.03 meter didapatkan nilai pathloss eksponen sebesar 4.2. Hal ini menunjukkan level penurunan daya yang cukup tinggi pada lingkungan propagasi *indoor* akibat bertambahnya jarak dan adanya penghalang antara pengirim dan penerima.
3. Standar deviasi pada perhitungan karakteristik *shadowing* menghasilkan nilai 6.37 dB dengan rata-rata *shadowing* mendekati nol. Hal ini menunjukkan selisih nilai acak *shadowing* terhadap nilai rata-ratanya cukup tinggi akibat banyaknya penghalang disepanjang jalur propagasi.
4. Persamaan *Log-Normal Shadowing* menghasilkan fungsi distribusi secara teori. Urutan nilai dari rendah ke tinggi dibagi dengan jumlah sampel yang diuji menghasilkan distribusi secara empiris. Selisih antara keduanya menghasilkan nilai D_2 sebesar 0.17. Nilai $c_{n,\alpha}$ yang didapatkan sebesar 0.19 dengan jumlah sampel sebanyak 49 data. Berdasarkan pengujian K-S Test dengan perbedaan $D_2 < c_{n,\alpha}$ hipotesa dapat diterima bahwa karakteristik *shadowing* pada lingkungan propagasi dalam ruang di Lab Telekomunikasi Multimedia terdistribusi log normal (normal dalam dB).
5. Daya sebesar 0 dBm, 5 dBm dan 10 dBm dapat mencakup 50 % area dengan *threshold* -90 dBm (*threshold* Wifi pada umumnya) untuk lingkungan propagasi *indoor* yang jaraknya mencapai masing-masing 23,2 m, 30,6 m dan 40,2 m.

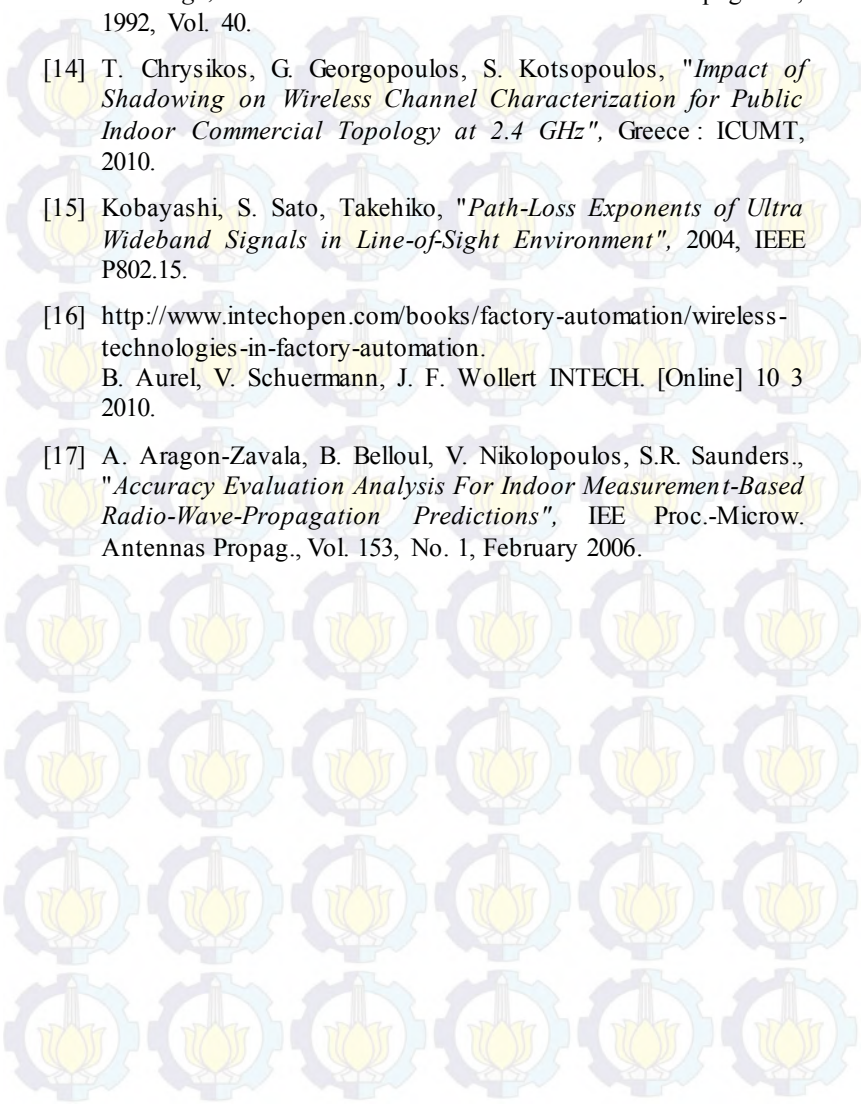
5.2 Saran

Selama proses pengerjaan penelitian ini, saran yang bisa diajukan sebagai bahan pengembangan penelitian lebih lanjut antara lain :

1. Untuk mengetahui karakteristik redaman dan shadowing dalam ruang yang lebih mendalam, pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan frekuensi 5 GHz.
2. Daya pancar pada pengukuran dapat di rubah-rubah untuk lebih memahami karakteristik redaman dan shadowing dengan jarak yang lebih variatif.

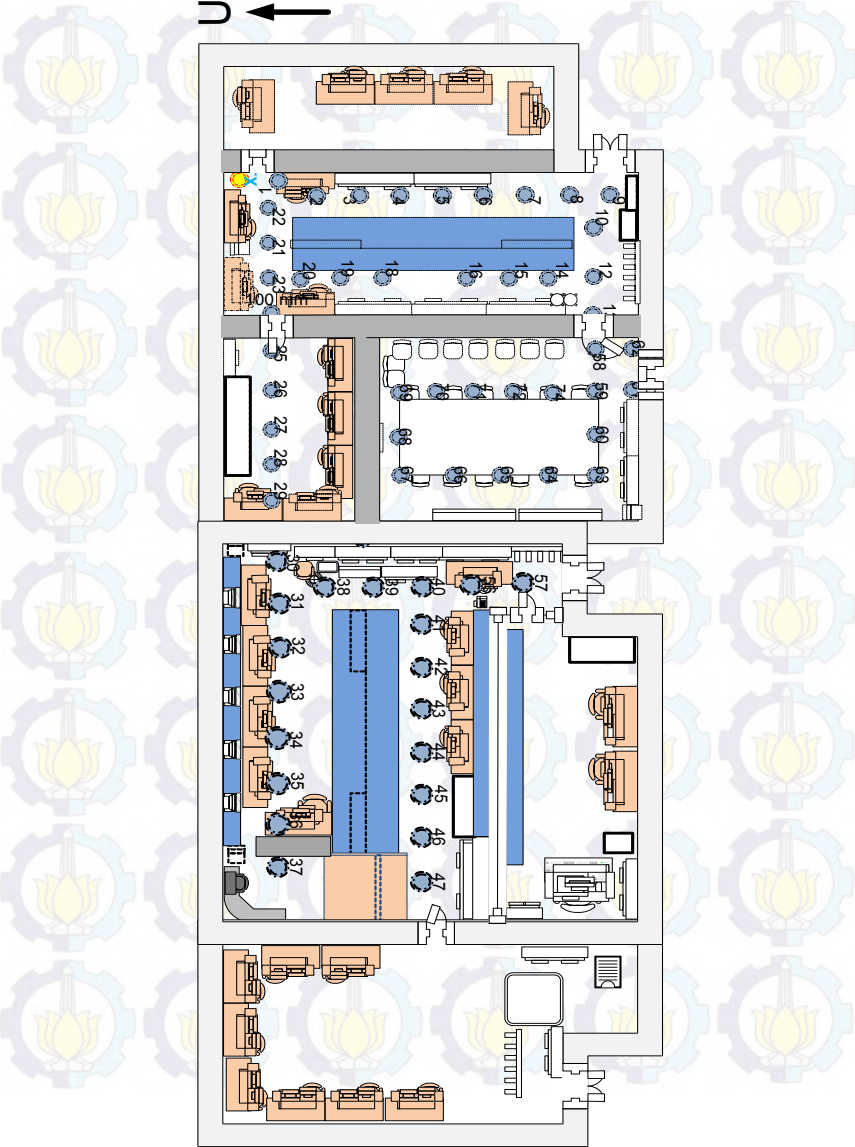
DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Saunders, A. Aragon-Zavala, "*Antennas And Propagation For Wireless Communication Systems 2nd Ed.*", Chichester, England : JohnWiley & Sons Ltd, 2007.
- [2] Parson, J. D. "*The Mobile Radio Propagation Channel, 2nd Ed.*", John Wiley & Sons, 2000.
- [3] B. Sklar, "*Digital Communications Fundamentals and Applications, 2nd Ed.*", Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall, 2001. pp. 286–290.
- [4] Seybold, J. S., "*Introduction to RF Propagation*", JOHN WILEY & SONS, INC., 2005.
- [5] N. Yarkoni, N. Blaunstein., "*Prediction Of Propagation Characteristics In Indoor Radio Communication Environments*", Progress In Electromagnetics Research, Beer Sheva, Israel : PIER 59, 2006.
- [6] T. S., Rapaport, "*Wireless Communication – Principle & Practice*", Prentice Hall, 2002.
- [7] Goldsmith, Andrea, "*Wireless Communication*", Cambridge University Press, 2005.
- [8] R. Akl, D. Tummala, Xinrong Li, "*Indoor Propagation Modeling At 2.4 Ghz For IEEE 802.11 Networks*", 6th IASTED Internationaal Multi-Conference on Wireless and Optical Communications, Banff, AB, Canada, 2006.
- [9] Integrated, Maxim., "*Data Sheet MAX2828-MAX2829*", Rio Robles, San Jose, USA, 2004, 19-3455; Rev 0; 10/04.
- [10] <http://warpproject.org>. *WARP: "Wireless Open Access Research Platform"*, [Dikutip: 15 Dec 2014] <http://warpproject.org/trac/wiki/WARPLab6/Specifications>.
- [11] L-COM. INC., "*2.4 GHz 7 dBi Desktop Omni Antenna - 4ft SMA Male Connector*".
- [12] T.T., Soong, "*Fundamentals Of Probability And Statistics For Engineers*", Southern Gate, Chichester, England : John Wiley & Sons Ltd., 2004.

- 
- [13] Scott Y. Seidel, T. S. Rappaport., "914 MHz Pathloss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Building", IEEE Transactions On Antenna and Propagation, 1992, Vol. 40.
- [14] T. Chrysikos, G. Georgopoulos, S. Kotsopoulos, "Impact of Shadowing on Wireless Channel Characterization for Public Indoor Commercial Topology at 2.4 GHz", Greece : ICUMT, 2010.
- [15] Kobayashi, S. Sato, Takehiko, "Path-Loss Exponents of Ultra Wideband Signals in Line-of-Sight Environment", 2004, IEEE P802.15.
- [16] <http://www.intechopen.com/books/factory-automation/wireless-technologies-in-factory-automation>.
B. Aurel, V. Schuermann, J. F. Wollert INTECH. [Online] 10 3 2010.
- [17] A. Aragon-Zavala, B. Belloul, V. Nikolopoulos, S.R. Saunders., "Accuracy Evaluation Analysis For Indoor Measurement-Based Radio-Wave-Propagation Predictions", IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol. 153, No. 1, February 2006.

LAMPIRAN A

Denah Pengukuran



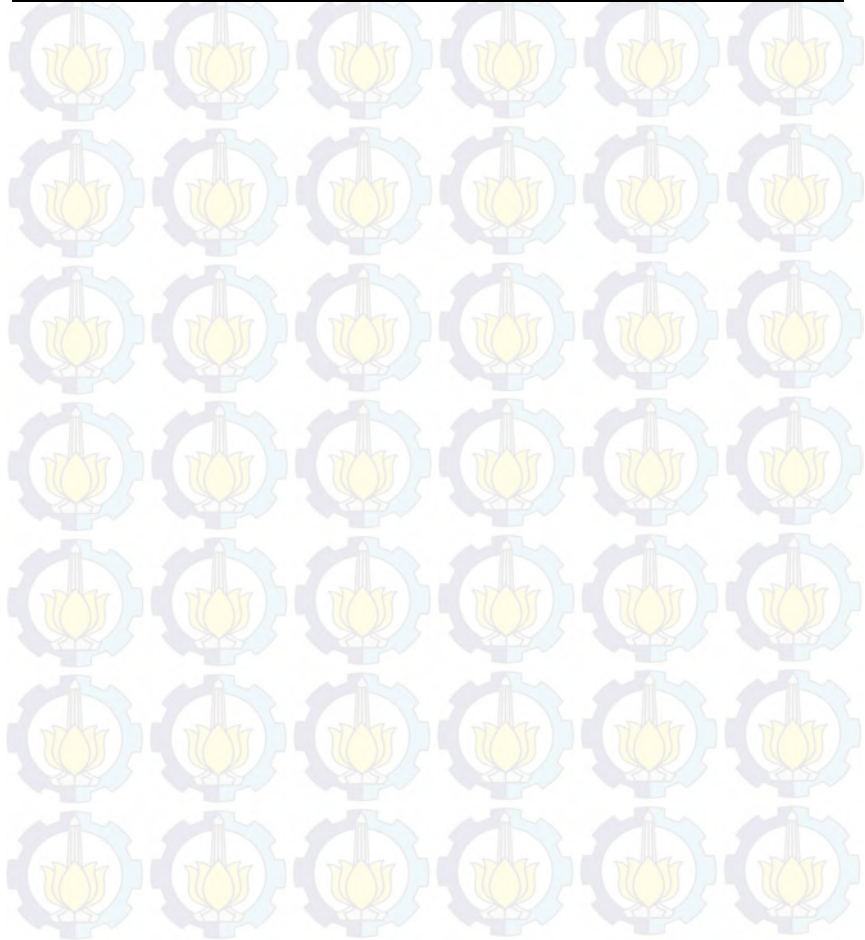
LAMPIRAN B

Data Hasil Pengukuran

Node	a	b	c	d	e	AVE	jarak
1	-23,6103	-16,9702	-22,8267	-17,6630	-21,8523	-20,5845	1,00
22	-20,5567	-20,1041	-21,0697	-18,6406	-18,3773	-19,7497	1,12
2	-25,8464	-29,5972	-27,0451	-24,0327	-25,1118	-26,3266	2,06
21	-26,8383	-33,0546	-25,3534	-25,3161	-25,3161	-27,1757	2,30
3	-29,3411	-27,5686	-27,1601	-27,8817	-28,7337	-28,1371	3,16
23	-46,9383	-45,3517	-43,3739	-46,1843	-37,1959	-43,8088	3,54
4	-28,8466	-32,2678	-29,9450	-31,3464	-32,9037	-31,0619	4,12
20	-37,6997	-36,2109	-32,0427	-31,8650	-40,6099	-35,6857	4,27
19	-45,1891	-39,0941	-44,7456	-42,5621	-44,3836	-43,1949	4,72
24	-48,7626	-47,3801	-36,8931	-51,3743	-45,5000	-45,9820	5,02
5	-30,1868	-30,3435	-32,9165	-36,8121	-30,5484	-32,1615	5,10
18	-44,9156	-44,2476	-42,9620	-42,9620	-41,4922	-43,3159	5,32
25	-48,6799	-53,1748	-45,6205	-45,2030	-47,9567	-48,1270	6,02
6	-34,3952	-30,6043	-33,1127	-35,2946	-34,4657	-33,5745	6,08
16	-51,3768	-53,5380	-45,3375	-50,4400	-48,6095	-49,8604	6,80
26	-54,6667	-52,8415	-47,5759	-53,0946	-53,0946	-52,2547	7,02
7	-34,8819	-34,7050	-41,4765	-40,8476	-34,2930	-37,2408	7,07
69	-53,9373	-54,3599	-53,3627	-57,0885	-65,2952	-56,8087	7,38
15	-47,8807	-57,1461	-51,0099	-54,7128	-41,2489	-50,3997	7,63
70	-51,5369	-56,2997	-52,5988	-54,4614	-53,5641	-53,6922	7,91
27	-57,2795	-52,1238	-47,6972	-57,3250	-53,7490	-53,6349	8,02
8	-38,3497	-34,6963	-37,3159	-44,8227	-35,6294	-38,1628	8,06
14	-43,6917	-46,1648	-43,7951	-46,4767	-49,7543	-45,9765	8,50
71	-58,9226	-63,3574	-64,8414	-61,0987	-56,4600	-60,9360	8,51
68	-56,6663	-55,8199	-59,2084	-59,7411	-58,1043	-57,9080	8,73
10	-35,2789	-38,5420	-34,6826	-35,0257	-34,7910	-35,6640	8,93

11	-45,4722	-45,2951	-40,4034	-39,1279	-44,7522	-43,0102	9,01
9	-41,1480	-34,8047	-33,2604	-46,2384	-41,8710	-39,4645	9,06
72	-60,5349	-57,9827	-59,5141	-63,3477	-61,6408	-60,6040	9,19
12	-52,9450	-44,1394	-41,8193	-46,9308	-49,5185	-47,0706	9,39
67	-54,7835	-57,8848	-60,3447	-59,2217	-62,5753	-58,9620	9,66
29	-57,1693	-53,5968	-49,6291	-62,2614	-49,9620	-54,5237	9,71
13	-57,1877	-50,4817	-49,6101	-52,8525	-51,8150	-52,3894	9,86
73	-65,7946	-52,5204	-57,6906	-57,6906	-60,4214	-58,8235	9,92
66	-66,2106	-65,6049	-61,0416	-65,5204	-57,6076	-63,1970	10,18
58	-55,8494	-54,6943	-55,9622	-60,0245	-57,7490	-56,8559	10,40
30	-65,4590	-64,4396	-66,1693	-65,0288	-65,7747	-65,3743	10,75
65	-64,5546	-55,9434	-54,0194	-55,7922	-54,0578	-56,8735	10,96
59	-65,9744	-64,0468	-61,4767	-59,4083	-65,8833	-63,3579	11,01
62	-62,4476	-59,2568	-59,9636	-53,6310	-55,4049	-58,1408	11,07
38	-61,9725	-64,5657	-66,1441	-64,9322	-65,7427	-64,6714	11,18
39	-66,2167	-65,9124	-66,0377	-66,0578	-65,7248	-65,9899	11,40
61	-56,1213	-58,3831	-55,9993	-57,7551	-59,0269	-57,4571	11,64
40	-65,8649	-65,8080	-64,9814	-65,9120	-63,7628	-65,2658	11,70
64	-59,6059	-63,1572	-58,4318	-65,5907	-66,0553	-62,5682	11,72
60	-62,7093	-58,3460	-64,3140	-58,4720	-65,7707	-61,9224	11,85
31	-62,0352	-63,2145	-63,2145	-64,6799	-64,9578	-63,6204	12,04
56	-66,2193	-65,4209	-65,7573	-66,2336	-66,0133	-65,9289	12,64
41	-64,7886	-64,6515	-65,9196	-65,3897	-65,8221	-65,3143	12,65
63	-62,8152	-65,6262	-57,9530	-58,2042	-59,0325	-60,7262	12,75
32	-63,9974	-65,5360	-65,7982	-65,8271	-65,0408	-65,2399	13,04
57	-65,6864	-65,7127	-65,0056	-65,9803	-65,9934	-65,6757	13,46
42	-65,6676	-65,4622	-66,0349	-66,2390	-66,1090	-65,9026	13,60
33	-65,7632	-64,9065	-63,9910	-62,6504	-64,6120	-64,3846	14,04
43	-66,2135	-65,7868	-65,7868	-66,2251	-65,2975	-65,8619	14,56
34	-60,3593	-60,2289	-63,5474	-64,2466	-65,2099	-62,7184	15,03
44	-65,4831	-65,6391	-65,4252	-65,7330	-66,1770	-65,6915	15,52

35	-63,2623	-60,6159	-61,1559	-62,1988	-60,5496	-61,5565	16,03
45	-66,0235	-65,0088	-65,1655	-66,0117	-65,9559	-65,6331	16,49
36	-61,2620	-63,3247	-63,6240	-63,9233	-65,3555	-63,4979	17,03
46	-65,9110	-65,9084	-65,9330	-65,9175	-64,9863	-65,7312	17,46
37	-65,1758	-65,5761	-65,4596	-66,2013	-66,0990	-65,7024	18,03
47	-65,7023	-64,6222	-65,6803	-65,7144	-65,6833	-65,4805	18,44



LAMPIRAN C

Listing Program

```
% Program pembangkitan sinyal
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% wl_example_siso_txrx.m
%
% In this example, we send the short symbols from the
% 802.11 PHY specification as a preamble to a simple
% sinusoidal payload.
% If enabled by the USE_AGC variable at the top of the code,
% the AGC core
% running on the WARP hardware will adjust RF and baseband
% gains as well as
% subtract off any DC offset that might be present in the
% reception.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear;
USE_AGC = false;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Set up the WARP lab experiment
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

NUMNODES = 2;

%Create a vector of node objects
nodes = wl_initNodes(NUMNODES);

%Create a UDP broadcast trigger and tell each node to be
ready for it
eth_trig = wl_trigger_eth_udp_broadcast;
wl_triggerManagerCmd(nodes, 'add_ethernet_trigger', [eth_trig
]);

%Get IDs for the interfaces on the boards. Since this
example assumes each
%board has the same interface capabilities, we only need to
get the IDs
%from one of the boards
[RFA,RFB] = wl_getInterfaceIDs(nodes[1]);

%Set up the interface for the experiment
TxGainRF = 60; %Tx RF Gain in [0:63]
TxGainBB = 3; %Tx Baseband Gain in [0:3]
freq = 2.4;
channel = 3;
```



```

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'tx_gains', TxGainBB, TxGainRF)
;
wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'channel', freq, channel);

if(USE_AGC)
wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'automatic');
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_target', -10);
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_trig_delay', 511);
else
    wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'manual');
    RxGainRF = 1; %Rx RF Gain in [1:3]
    RxGainBB = 15; %Rx Baseband Gain in [0:31]

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gains', RxGainRF, RxGainBB)
;
end

%We'll use the transmitter's I/Q buffer size to determine
how long our
%transmission can be
txLength = nodes[1].baseband.txIQLen;

%Set up the baseband for the experiment
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_delay', 0);
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_length', txLength);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Signal processing to generate transmit signal
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% First generate the preamble for AGC. The preamble
corresponds to the
% short symbols from the 802.11a PHY standard
shortSymbol_freq = [0 0 0 0 0 0 0 0 1+i 0 0 0 -1+i 0 0 0 -1-
i 0 0 0 1-i 0 0 0 -1-i 0 0 0 1-i 0 0 0 0 0 0 0 0 1-i 0 0 0 -1-
i 0 0 0 1-i 0 0 0 -1-i 0 0 0 -1+i 0 0 0 1+i 0 0 0 0 0 0
0].';
shortSymbol_freq =
[zeros(32,1); shortSymbol_freq; zeros(32,1)];
shortSymbol_time = ifft(fftshift(shortSymbol_freq));
shortSymbol_time =
(shortSymbol_time(1:32).') ./ max(abs(shortSymbol_time));
shortsyms_rep = repmat(shortSymbol_time, 1, 30);

preamble = shortsyms_rep;
preamble = preamble(:);

Ts = 1/(wl_basebandCmd(nodes[1], 'tx_buff_clk_freq'));

```

```

Ts_RSSI = 1/(wl_basebandCmd(nodes[1], 'rx_rssi_clk_freq'));
t = [0:Ts:(txLength-length(preamble)-1))*Ts].'; % Create
time vector (Sample Frequency is Ts (Hz))

payload = .6*exp(t*j*2*pi*5e6); %5 MHz sinusoid as our
"payload"

txData = [preamble;payload];

node_tx = nodes[1];
node_rx = nodes(2);
RF_TX = RFA;
RF_RX = RFA;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Transmit and receive signal using WARPLab
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

wl_basebandCmd(node_tx, [RF_TX], 'write_IQ', txData(:));
wl_interfaceCmd(node_tx, RF_TX, 'tx_en');
wl_interfaceCmd(node_rx, RF_RX, 'rx_en');

wl_basebandCmd(node_tx, RF_TX, 'tx_buff_en');
wl_basebandCmd(node_rx, RF_RX, 'rx_buff_en');

eth_trig.send();

%wl_basebandCmd(nodes, 'continuous_tx', true);

rx_IQ = wl_basebandCmd(node_rx, [RF_RX], 'read_IQ', 0,
txLength);
rx_RSSI =
wl_basebandCmd(node_rx, [RF_RX], 'read_RSSI', 0, txLength/(Ts_RS
SI/Ts));
rx_gains = wl_basebandCmd(node_rx, [RF_RX], 'agc_state');

wl_basebandCmd(nodes, 'RF_ALL', 'tx_rx_buff_dis');
wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'tx_rx_dis');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Visualize results
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure[1];clf;
ax[1] = subplot(2,1,1);
plot(0:(length(rx_IQ)-1), real(rx_IQ))
xlabel('Sample Index')

```

```

title('Received I')
axis tight
grid on

ax(2) = subplot(2,1,2);
plot(0:(length(rx_IQ)-1),imag(rx_IQ))
xlabel('Sample Index')
title('Received Q')
axis tight
grid on

linkaxes(ax,'xy')

figure(2);clf;
plot(0:(length(rx_RSSI)-1),rx_RSSI)
axis tight
xlabel('Sample Index')
if(USE_AGC)
    RxGainRF = rx_gains[1];
    RxGainBB = rx_gains(2);
end
axis([0 4300 0 1050])
title(sprintf('Received RSSI, Gains Selected -- RF: %d, BB: %d',RxGainRF,RxGainBB))
grid on

%Convert Tx Gain to Pt
Tx_Gain_Setting = TxGainRF;
if (Tx_Gain_Setting < 5)
    Pt = (Tx_Gain_Setting/Tx_Gain_Setting)-35
else
    Pt = (0.5252*Tx_Gain_Setting)-36.1017
end

% Convert RSSI to Pr(dBm)
RSSI = mean(rx_RSSI(500:4000));

if (RxGainRF == 3)
    Pr=( (RSSI/1023)*70)-100;
elseif (RxGainRF == 2)
    Pr=( (RSSI/1023)*70)-85;

elseif (RxGainRF == 1)
    Pr=( (RSSI/1023)*70)-70;
else
    'Check Rx_RF'
end

```

```

save ('D:\KULIAH\ELITS\Dropbox\[2014] TA
FIGHTING\PENGUKURAN\17 Dec 2014\Tx1_B306\Tx_Rx.mat')
saveas (gcf, 'D:\KULIAH\ELITS\Dropbox\[2014] TA
FIGHTING\PENGUKURAN\17 Dec 2014\Tx1_B306\Tx_Rx.fig')

% Kalkulasi Analisa Data
clear all; clc;
freq = [ 2412 2417 2422 2427 2432 2437 2442 2447 2452 2457
2462 2467 2472 2484]; %Freq in MHz
f = freq(3);
c = 3.0e8;
lmd = c/(f*1e6); %lamda
Pt = -4.5897; %Pt with gain. convert from TX_GainRF
Gt = 30; Gtbb = 4.5; Gr = 0; Grbb = 31-31; Gpa = 20; Ga = 7;
%31:Noise Figure
da = (1:1:20); logda = log10(da);
THRx = -65;

Data Hasil Pengukuran
data=load('Pr.txt');
Pr = data(1,:); dr = data(2,:);
logdr = log10(dr);

%LINK BUDGET
Free Space Loss
FSL = -20*log10(lmd./(4*pi*da));
xFSL = 20*log10(da/10.^3)+20*log10(f)+32.45;
EIRP = Pt + Gpa + Ga;
RSL = EIRP - FSL - Ga;
LinkMargin = EIRP - FSL + Gr + Ga - THRx;

figure(1)
plot(da,FSL,'-rx','linewidth',2); hold on
grid on
title('Free Space Loss')
xlabel('Log Distance (m)'); ylabel('Free Space Loss (dB)')

figure(2)
plot(da,RSL,'-bx','linewidth',2); hold on
grid on
title('Receive Signal Level')
xlabel('Distance (m)'); ylabel('Receive Signal Level (dBm)')

figure(3)
plot(logda,LinkMargin,'-kx','linewidth',2); hold on
grid on
title('Link Margin')
xlabel('Distance (m)'); ylabel('Link Margin (dB)')

Pathloss Eksponent
PL = Pt - Pr;

```



```

pl = polyfit(logdr,PL,1); yl = polyval(pl,logdr);
n = pl(:,1)/10
%Y=Y-47.78;

figure(3)
scatter(logdr,PL,'*r');hold on
plot(logdr,yl,'-b','linewidth',2); hold on
grid on
legend('Penyebaran Data','Regresi Linear
Pathloss','location','SouthEast')
title('Pathloss')
xlabel('Log Distance'); ylabel('Path Loss (dB)')

figure(4)
plot(da,RSL,'-b','linewidth',2); hold on
scatter(da,RSL,'*k','linewidth',2); hold on
plot(dr,Pr,'or','linewidth',2); hold on
grid on
title('Receive Signal Level Measurement vs Teoritical')
xlabel('Distance (m)'); ylabel('Receive Signal (dBm)')

Shadowing
s = PL - yl;

figure(5)
plot(logdr,s,'-rs','linewidth',2); hold on
scatter(logdr,s,'bs','linewidth',2); hold on
xlabel('Log Distance'); ylabel('Level Shadowing (dB)')
title('Karakteristik Shadowing')
grid on

STANDAR DEVIASI
rata=mean(s)
variabel = var(s);
std_dev = sqrt(variabel)

% K-S Test
Empirical
z = sort(s);
sample=49;
for i=1:49
    F_y(i)=i/sample;
end
Teoritical
u=(z - rata)/std_dev/(sqrt(2));
for i = 1:49
    Fn_y(i)=1/((2*pi).^(1/2)).*quadgk(@(x)exp(-(x.^2)./2),-
inf,u(:,i));
end

d2_norma = max(abs(F_y-Fn_y))

```

```

figure (6)
plot(z,F_y, '-r', 'linewidth',2); hold on
plot(z,Fn_y, '--b', 'linewidth',2);
axis([-18 10 0 1])
grid on
xlabel('Nilai shadowing(dB)')
ylabel('Cumulative Distribution Function');
title('Theoritical dan Empirical Normal Distribution');
legend('Empirical','Theoritical','location','SouthEast')

%Coverage Area
d0=1;
gamma = -90;
Pt1 = 0:5:10;
R = 1:0.1:100;
PLd0 = 20*log10((4*pi*d0)/lmd);

for j=1:3
    for k=1:991
        A1(j,k) = (gamma-
Pt1(:,j)+PLd0+(10*n*log10(R(:,k)/d0)))/(std_dev*sqrt(2));

        B = (10*n*log10(exp(1)))/(std_dev*sqrt(2));
        v1(j,k) = 1-erf(A1(j,k));
        w1(j,k) = exp((1-(2*A1(j,k)*B))/(B^2));
        x1(j,k) = 1-erf((1-(A1(j,k)*B))/B);

        percental(j,k) =
0.5*(v1(j,k)+(w1(j,k).*x1(j,k)))*100;

        percentax(k)=(0.5*(1-erf(A1(k))+exp((1-
(2*A1(k)*B))/B^2)*(1-erf((1-(A1(k)*B))/B))))*100;
    end
end

figure (7)
plot(R,percental(1,:), '-r', 'linewidth',2); hold on
plot(R,percental(2,:), '-k', 'linewidth',2); hold on
plot(R,percental(3,:), '-b', 'linewidth',2)
legend('Pt = 0dBm','Pt = 5 dBm','Pt = 10 dBm')
axis([1 100 0 100])
title('Presentase Coverage Area')
xlabel('Radius (m)')
ylabel('Persen Area yang di Cover (%)')
grid on

figure (8)
semilogx(dr,Pr,'k', 'linewidth',2); hold on
semilogx(dr,s,'b', 'linewidth',2); hold on
semilogx(da,RSL,'r', 'linewidth',2)
%xlim([1 100]); ylim([-140 -20])
grid on
xlabel('Jarak Tx-Rx (meter)'); ylabel('Level Daya Terima')

```

LAMPIRAN D

MAX2828/MAX2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-Band Transceiver ICs

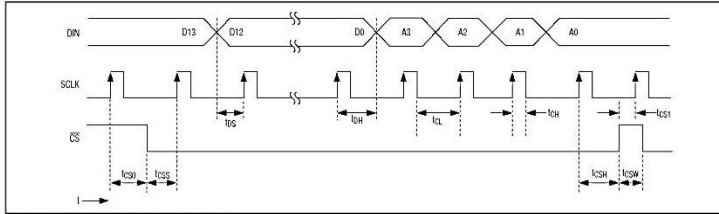
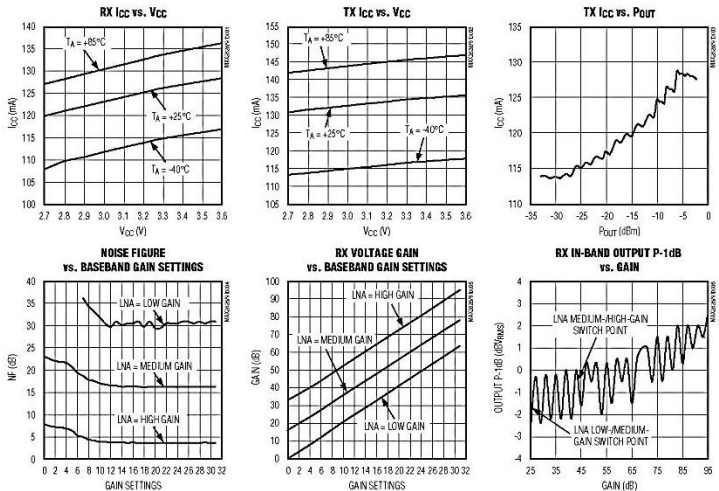


Figure 2.3 Wire Serial-Interface Timing Diagram

Typical Operating Characteristics

($V_{CC} = 2.7V$, $f_{RF} = 2.437GHz$ (802.11g) or $f_{RF} = 5.25GHz$ (802.11a), $f_{RFOSC} = 40MHz$, $SHDN = \overline{CS} = \text{high}$, $RXHP = SCLK = \overline{DIN} = \text{low}$, $R_{BIAS} = 11k\Omega$, $T_A = +25^\circ C$ using the MAX2828/MAX2829 evaluation kits.)

802.11g



MAX2828/MAX2829

Single-/Dual-Band 802.11a/b/g

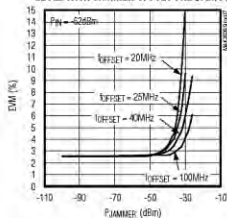
World-Band Transceiver ICs

Typical Operating Characteristics (continued)

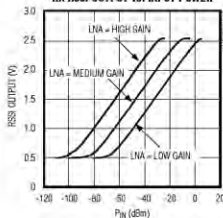
($V_{CC} = 2.7V$, $f_{RF} = 2.437GHz$ (802.11g) or $f_{RF} = 5.25GHz$ (802.11a), $f_{RFOSC} = 40MHz$, $SHDN = CS = high$, $RXHP = SCLK = DIN = low$, $RBIAS = 11k\Omega$, $T_A = +25^\circ C$ using the MAX2828/MAX2829 evaluation kits.)

802.11g

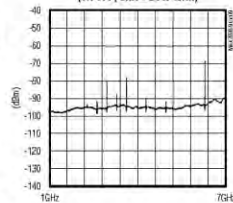
OFDM EVM WITH OFDM JAMMER VS. OFDM JAMMER LEVEL WITH JAMMER OFFSET FREQUENCY



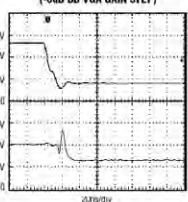
RX RSSI OUTPUT vs. INPUT POWER



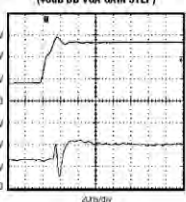
RX EMISSION SPECTRUM, LNA INPUT (TX OFF, LNA = LOW GAIN)



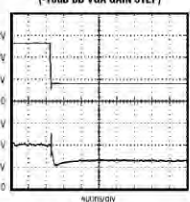
RX I/Q DC OFFSET SETTLING RESPONSE (-8dB BB VGA GAIN STEP)



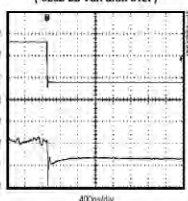
RX I/Q DC OFFSET SETTLING RESPONSE (+8dB BB VGA GAIN STEP)



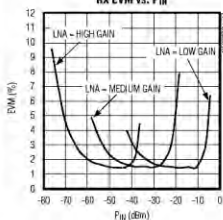
RX I/Q DC OFFSET SETTLING RESPONSE (-16dB BB VGA GAIN STEP)



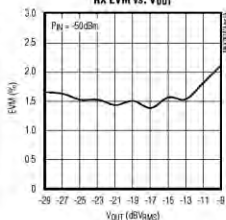
RX I/Q DC OFFSET SETTLING RESPONSE (+32dB BB VGA GAIN STEP)



RX EVM vs. P_{IN}



RX EVM vs. V_{OUT}

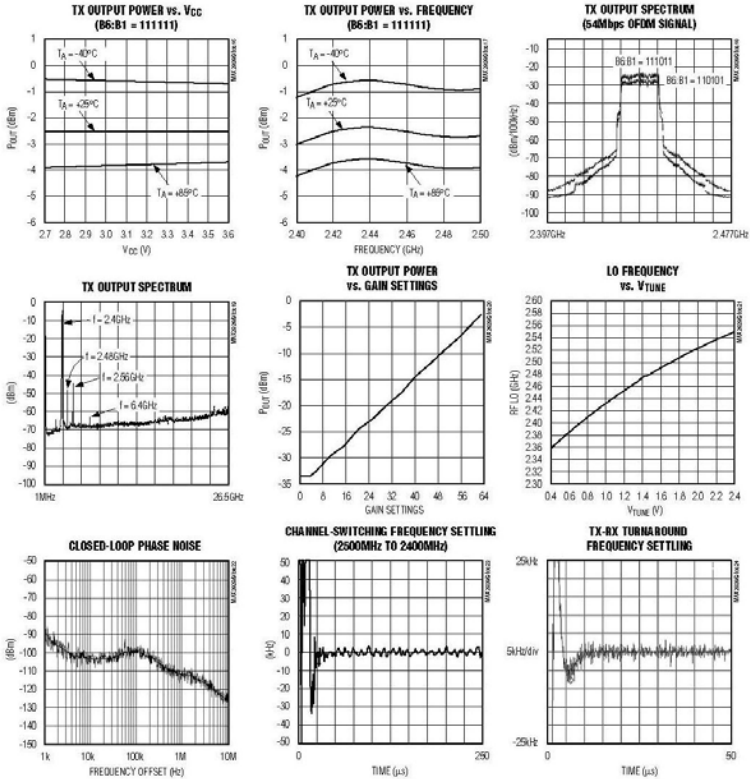


MAX2828/MAX2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-Band Transceiver ICs

Typical Operating Characteristics (continued)

($V_{CC} = 2.7V$, $f_{RF} = 2.437GHz$ (802.11g) or $f_{RF} = 5.25GHz$ (802.11a), $f_{REFOSC} = 40MHz$, $SHDN = CS = high$, $RX-HP = SCLK = DIN = low$, $R_{BIAS} = 11k\Omega$, $T_A = +25^\circ C$ using the MAX2828/MAX2829 evaluation kits.)

802.11g



Maxim Integrated

17

LAMPIRAN E

Jurusan Teknik Elektro – FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Lina Mubarakah
Nomor Pokok : 2212 106 048
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal Th. 2014/ 2015
Dosen Pembimbing : Ir. Puji Handayani, MT.
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Redaman dan *Shadowing* Dalam Ruang Pada Kanal Radio 2,4 Ghz
(*Characteristics of Attenuation, and Shadowing on 2,4 GHz Indoor Radio Channel*)

24 SEP 2014

Uraian Tugas Akhir :

Sistem komunikasi nirkabel menggunakan gelombang elektromagnetik yang melewati kanal radio untuk menyalurkan informasi dari pemancar ke penerima. Kanal radio merupakan bagian dari propagasi pada sistem nirkabel yang memiliki karakteristik tak tentu tergantung pada kondisi lingkungannya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kanal radio diantaranya adalah redaman dan *shadowing*. Prediksi karakteristik pada kanal radio dibutuhkan untuk mencapai komunikasi bergerak yang lebih optimal.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengukuran menggunakan sistem WARP (*Wireless Open Access Research Platform*) pada lingkungan dalam ruang dengan pita frekuensi 2,4 GHz. Hal ini ditujukan untuk mengetahui redaman dan *shadowing* berdasarkan pada hasil pengukuran yang merupakan karakteristik-karakteristik kanal radio tersebut.

Dosen Pembimbing,

Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 196605101992032001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua,

Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP. 197002121995121001

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,

Dr. Ir. Endroveno, DEA
NIP. 196504041991021001



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Lina Mubarokah, lahir di Purwokerto, Banyumas, 21 Maret 1991. Merupakan anak terakhir dari lima bersaudara keluarga Mbarok. Pada tahun 2008 menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 4, Purwokerto kemudian melanjutkan pendidikan ke D3 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dan mengambil jurusan Teknik Telekomunikasi pada tahun yang sama. Mendapat gelar A.Md pada September 2011. Pada Februari 2012 melanjutkan pendidikan di Fakultas Teknik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

